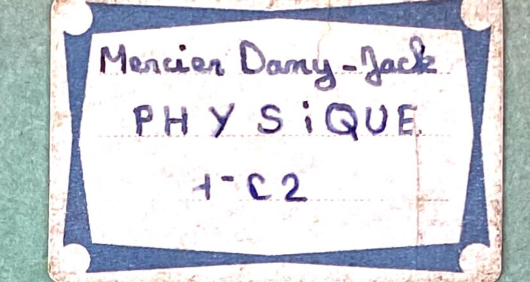
ARCHIVES



"JE NE CROIS PAS A L'EDUCATION. TON SEUL MODELE DOIT ETRE TOI-MEME, CE MODELE FÛT-IL EFFRAYANT"
(Einstein)

N° 405

Mercier Dany-Jack 1re C2

Cahier de Physique

Professeur : Mr. Sedat

Année 73-74

Lycée St Exupéry.

Notions préliminaires

Masse

La masse est une grandeur qui caractérise la quantité de matière d'un corps. Elle est invariable et indépendante de l'état physique du corps et du lieu.

Les forces

La force peut être défini par l'un des deux effets suivants :

- déformation d'un corps élastique.
- mise en mouvement d'un corps ou modification de son mouvement

4 principaux types : forces mécaniques de contact.
forces de gravité
forces magnétiques
forces électriques (et encore : forces nucléaires).

Unité de force (S.I) : le Newton (N)

Rotation : Tout point du solide en rotation forme un même angle avec l'axe de rotation.

Couples

2 expressions les définissent :

a) torsion d'un fil

b) mise en rotation d'un corps ou modification de sa rotation.

Le moment M (en m.N). Lorsque le couple est réalisé au moyen de 2 forces, l'expression du moment est $M = F.d$.

Travail

On dit qu'une force produit un travail lorsqu'elle déplace son point d'application.

$W = F \times l$ W en Joules (S.I)

$W = F l \cos \alpha$

Le travail du poids d'un corps est indépendant du chemin suivit. Il ne dépend que de la différence de hauteur entre les 2 lieux. Il s'exprime par le produit $W = mgh$

Cas général

A $\vec{F}$ B' $\vec{F}$ B

$W = F \times AB'$

Le travail de F est le produit de la projection orthogonale du trajet AB sur la ligne d'action F.

Travail d'un couple

$$W = M \alpha$$

Puissance

$$P = \frac{W}{t}$$ (unité S.I : Watt)

$kW = 10^3$ W

$MW = 10^6$ W

1 Ch $\simeq \frac{3}{4}$ kW ~~1 ch = 3~~

Notion de chaleur

C'est ce qu'il faut fournir ou retirer à un corps pour que sa tempé-rature s'élève ou s'abaisse.

$Q = m(t_2 - t_1)$ Q en calories

$Q = m\,c(t_2 - t_1)$

c = chaleur massique du corps considéré $= \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}$.

c en cal/g.°C

équivalence chaleur-travail. $\frac{W_J}{Q_{cal}} = 4,185$ J/cal Q_{cal} W_J

Le travail se transforme facilement en chaleur (frottements). Inversement, la chaleur peut se transformer en travail (moteurs thermiques). On est ainsi conduit à admettre que travail et chaleur sont 2 formes différentes d'une seule et même chose que l'on appelle énergie. De ce faits, l'unité SI de quantité de chaleur est donc le Joule.

Différentes formes d'énergie.

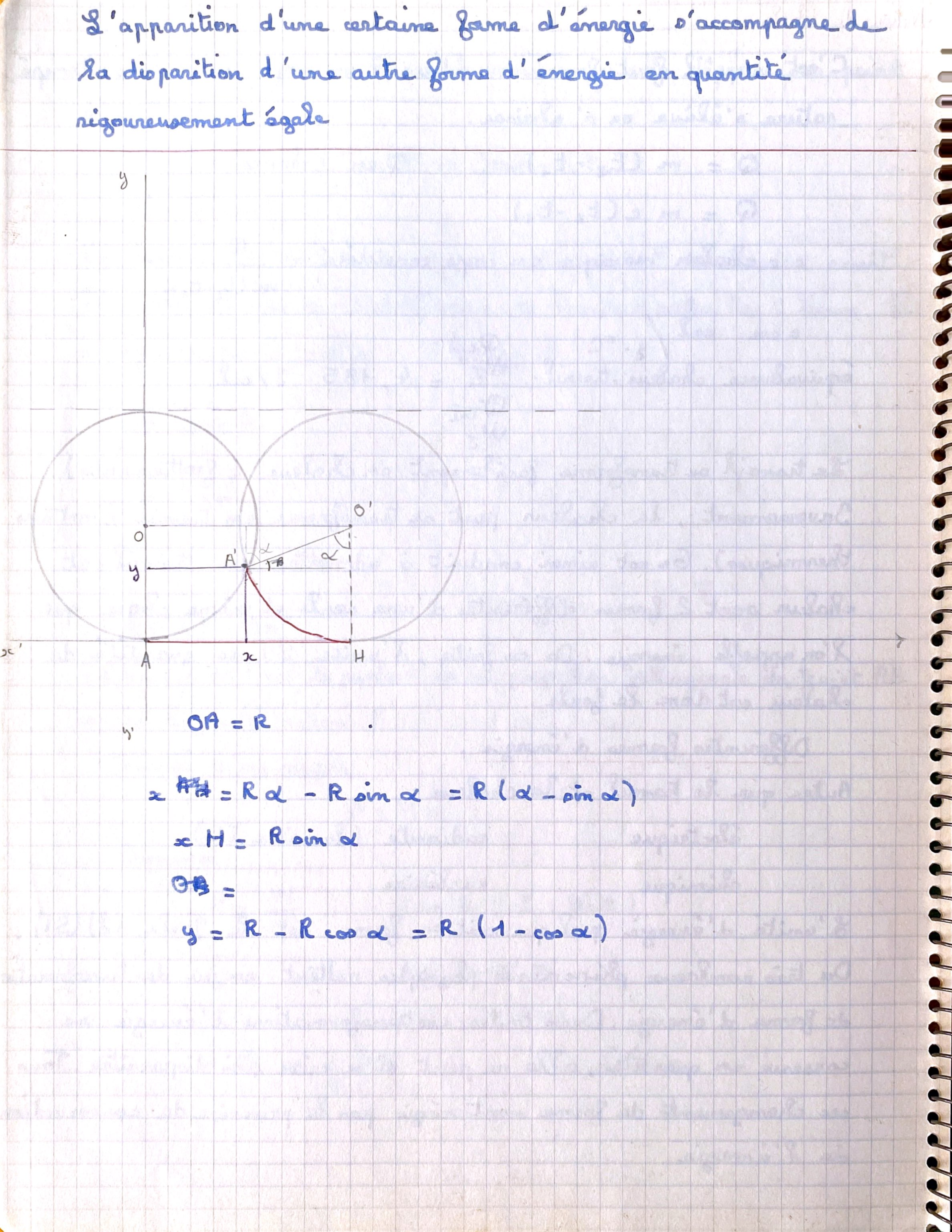
Autre que le travail et la chaleur :

électrique radiante (lumière I.R)

chimique nucléaire

L'unité d'énergie quel que soit sa forme est le Joule (J) (SI).
De très nombreux phénomènes physiques mettent en jeu des transformat de forme d'énergie. Dans toutes ces transformations l'énergie se conserve en quantité, elle ne peut ni se créer, ni disparaître. Tous ces changements de forme sont régis par le principe de conservati de l'énergie.

L'apparition d'une certaine forme d'énergie s'accompagne de la disparition d'une autre forme d'énergie en quantité rigoureusement égale



$OA = R$

x ~~AH~~ $= R\alpha - R\sin\alpha = R(\alpha - \sin\alpha)$

$xH = R\sin\alpha$

~~OB~~ $=$

$y = R - R\cos\alpha = R(1 - \cos\alpha)$

Electrostatique et électrocinétique

Phénomènes d'électrisation

Rappel : Toute substance frottée est susceptible d'attirer temporairement des petits corps légers : c'est le phénomène d'électrisation. On dit que le corps électrisé est chargé d'électricité.

Les 2 espèces d'électricité.

Elles sont distinguées par leurs effets sur un même corps électrisé. Si d'un corps électrisé A, on approche un autre corps B électrisé, on constate soit une attraction, soit une répulsion. Il existe donc seulement 2 espèces d'électricité

B A

On les distingue par des signes algébriques. L'une est appelée électricité positif (verre), l'autre électricité négative (ébonite, ambre).

Nature de l'électricité.

$\bar{e} = 1{,}602 \times 10^{-19}$ C L'électricité négative est formée par un ensemble de corpuscules indivisibles absolument identiques que l'on appelle des électrons. Ainsi l'électron $\bar{e}$ représente la plus petite quantité d'électricité négative. Une charge électrique négative quelconque portée par un corps n'est autre qu'un ensemble déterminé d'électrons.

Valeur de la charge élémentaire : $\bar{e} = 1{,}602 \times 10^{-19}$ C

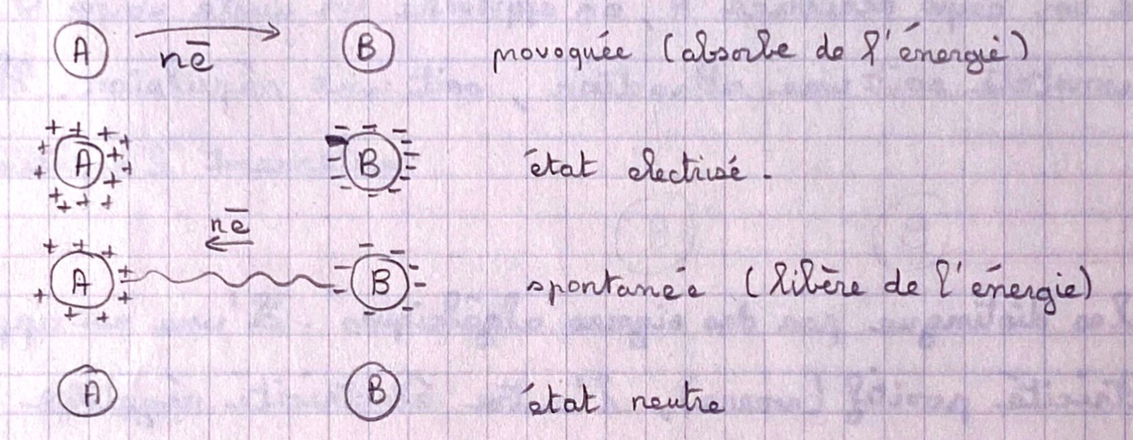
Masse : $9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg.

Une charge négative q^- peut s'exprimer par le produit du nombre n d'électrons qui la constitue par la valeur de la charge élémentaire

$$q^- = n e^-$$

Quant à l'électricité positive, c'est celle qui est portée par le noyau des atomes (protons p^+). L'électricité positive est donc elle aussi discontinue. La charge électrique positive élémentaire a rigoureusement la même valeur que celle de l'électron et elle est indivisible.

Interprétation de l'électrisation d'un corps.



Remarque : Les électrons arrachés à l'un des corps proviennent de ses atomes.

Conservation de l'électricité

Dans aucun phénomène il n'est possible de faire apparaître une seule espèce d'électricité. Il apparaît ou disparaît toujours des charges électriques de signe contraire et en égale quantité. Le plus souvent, il s'agit d'une séparation de charges électriques (électrisation) ou d'une réunion de charges opposées (neutralisation).

Pour un système isolé électriquement, la charge électrique totale reste constante.

Electrocinétique

Si l'on relie les pôles d'une machine électrostatique par un fil métalliq dans lequel on a intercalé un ampèremètre sensible, on constate une déviation permanente de l'aiguille tant que la machine fonctionne. Ceci indique qu'un courant électrique circule dans l'appareil, ce couran est tout à fait identique à celui obtenu au moyen d'une pile (Volta, Leclanché). L'étude d'un tel courant est appelée électrociné_ _tique.

Expériences

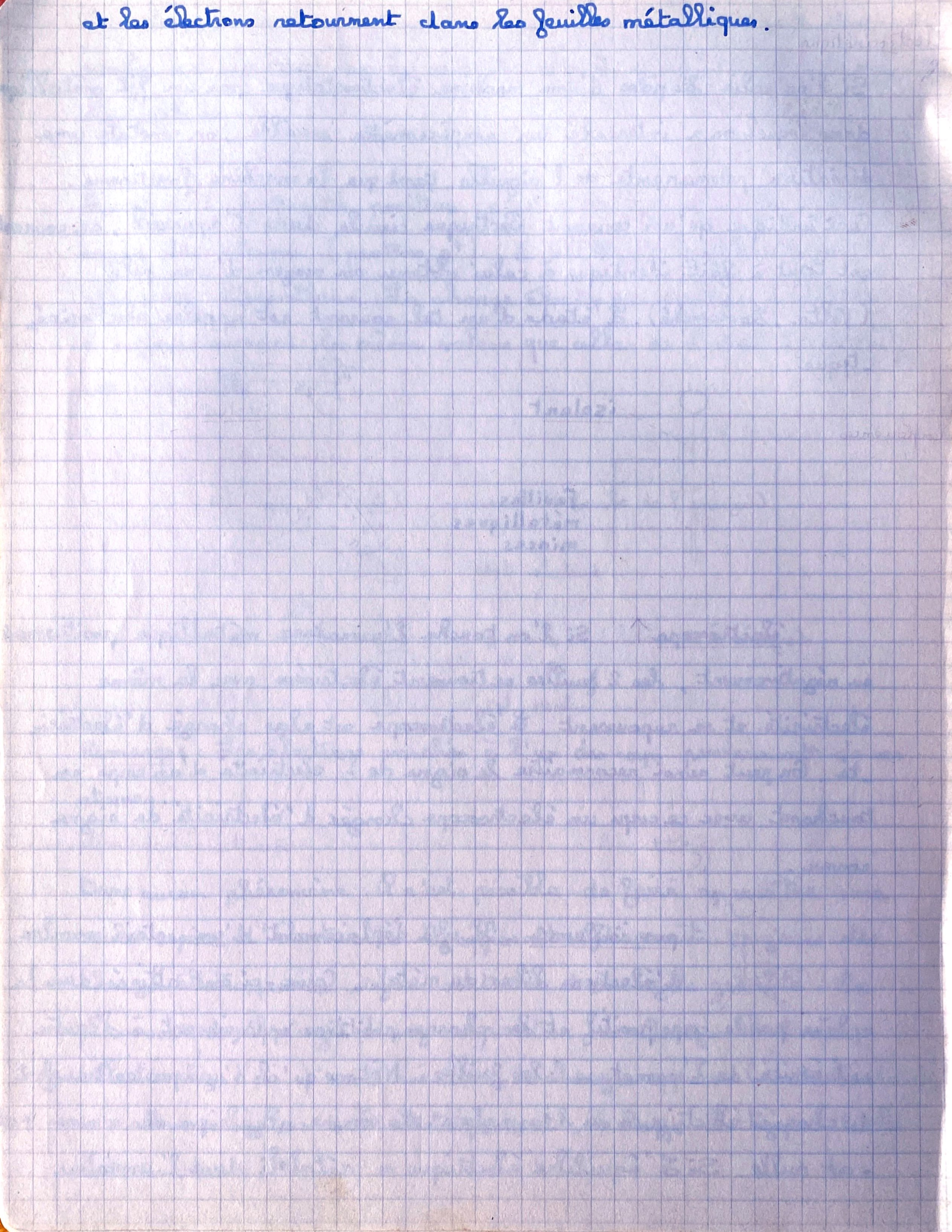
isolant

Feuilles métalliques minces

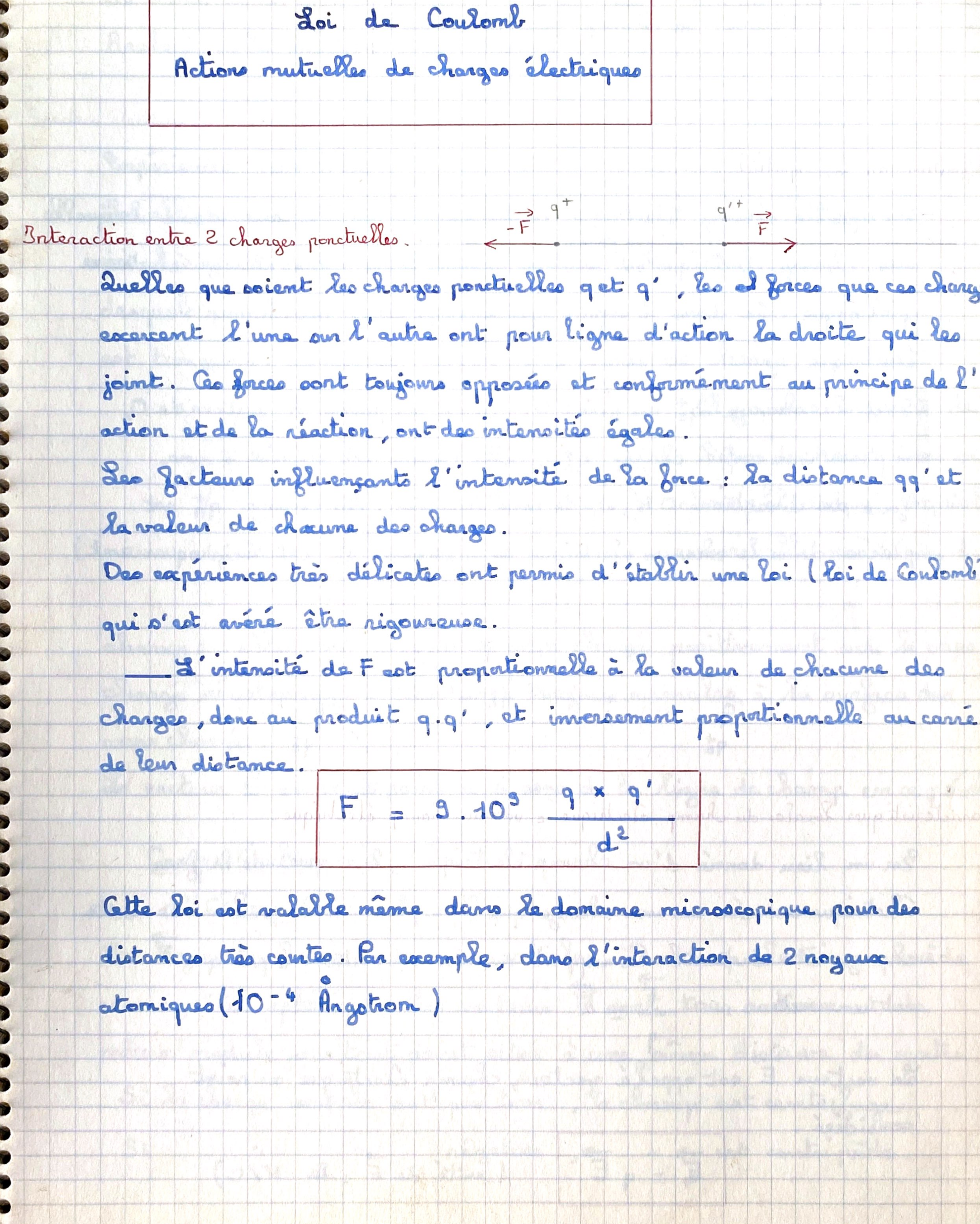
contact

Électroscope ↑ Si l'on touche l'armature métallique positivemen ou négativement, les 2 feuilles se trouvent électrisées avec la même électricité et se repoussent. L'électroscope est alors chargé d'électrici_ _té. On peut ainsi reconnaître le signe de l' électricité d'un corps en touchant avec ce corps un électroscope chargés d'électricité de signe connu.

par influence. Il y a déplacement d'un certain nombre d'électrons libres du métal. Ceux-ci sont attirés dans la sphère par le corps positif et les charges positives apparaissent à l'autre extrémité de l'armature : les feuilles. Notons qu'il n'y a pas eu transfert de charges électriques sur l'armature. La somme algébrique des sommes + et - est nulle. Si l'équilibre électrique se rétabli dans l'armature



et les électrons retournent dans les feuilles métalliques.



Loi de Coulomb

Actions mutuelles de charges électriques

Interaction entre 2 charges ponctuelles.

Quelles que soient les charges ponctuelles q et q', les ~~et~~ forces que ces charg[es] exercent l'une sur l'autre ont pour ligne d'action la droite qui les joint. Ces forces sont toujours opposées et conformément au principe de l'action et de la réaction, ont des intensités égales.

Les facteurs influençants l'intensité de la force : la distance qq' et la valeur de chacune des charges.

Des expériences très délicates ont permis d'établir une loi (loi de Coulomb) qui s'est avéré être rigoureuse.

— L'intensité de F est proportionnelle à la valeur de chacune des charges, donc au produit q.q', et inversement proportionnelle au carré de leur distance.

$$F = 9.10^9 \frac{q \times q'}{d^2}$$

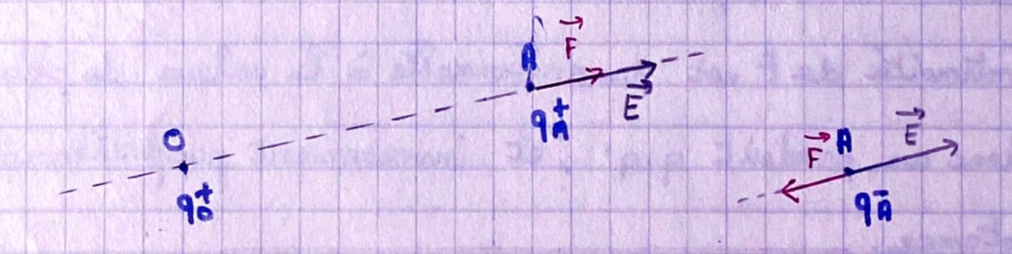
Cette loi est valable même dans le domaine microscopique pour des distances très courtes. Par exemple, dans l'interaction de 2 noyaux atomiques (10^{-4} Ångstrom)

Notion de champ électrostatique

Définition au sens spatial.

On appelle champ électrique toute région de l'espace dans laquelle une charge électrique qui y est placée est soumise à une force. Une charge électrique quelconque crée dans l'espace qui l'environne, un champ électrique.

Soit la charge q_O^+ au point O. Si en un point A, autour de O, on place une autre charge q_A^+, cette charge est soumise à une force de direction OA, et de sens de répulsion. La charge q_A^+ est placée dans le champ électrique de la charge q_O^+ (et réciproquement).

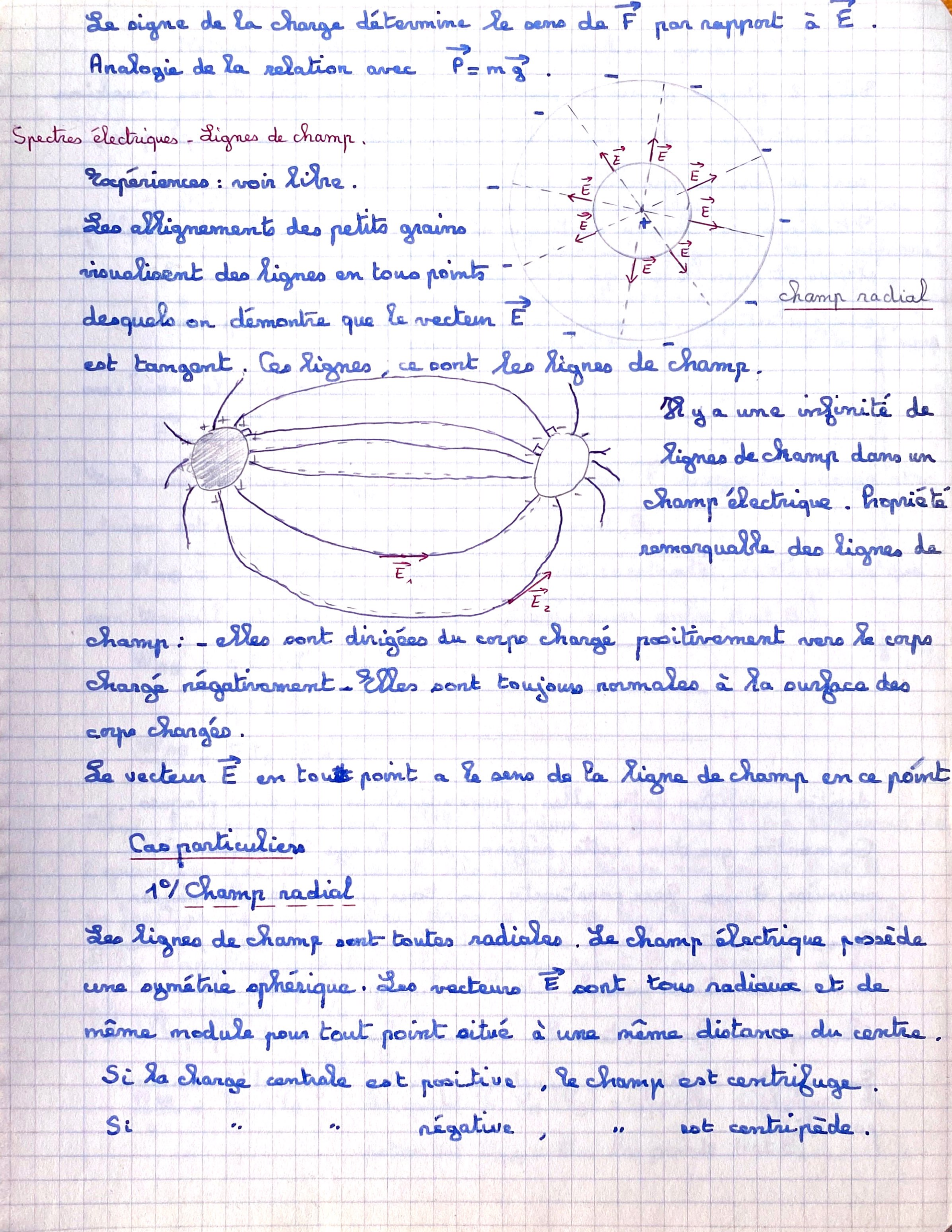


Caractéristiques locales du champ électrique : vecteur champ électrique.

En un lieu donné d'un champ électrique, le rapport de la force électrique exercée sur une charge que l'on place à la valeur de cette charge est constant. Ce rapport mesure un vecteur puisque $\vec{F}$ est un vecteur : $\frac{\vec{F}}{q} = \vec{E}$.

Le vecteur $\vec{E}$ est appelé vecteur champ électrique au point considéré.

$$\vec{F_e} = q\,\vec{E}$$ (unité de $\vec{E}$: le N/C)



Le signe de la charge détermine le sens de $\vec{F}$ par rapport à $\vec{E}$.

Analogie de la relation avec $\vec{P} = m\vec{g}$.

Spectres électriques - Lignes de champ.

Expériences : voir Livre.

Les alignements des petits grains visualisent des lignes en tous points desquels on démontre que le vecteur $\vec{E}$ est tangent. Ces lignes, ce sont les lignes de champ.

Il y a une infinité de lignes de champ dans un champ électrique. Propriété remarquable des lignes de champ : - Elles sont dirigées du corps chargé positivement vers le corps chargé négativement - Elles sont toujours normales à la surface des corps chargés.

Le vecteur $\vec{E}$ en tout point a le sens de la ligne de champ en ce point

Cas particuliers

1°/ Champ radial

Les lignes de champ sont toutes radiales. Le champ électrique possède une symétrie sphérique. Les vecteurs $\vec{E}$ sont tous radiaux et de même module pour tout point situé à une même distance du centre.

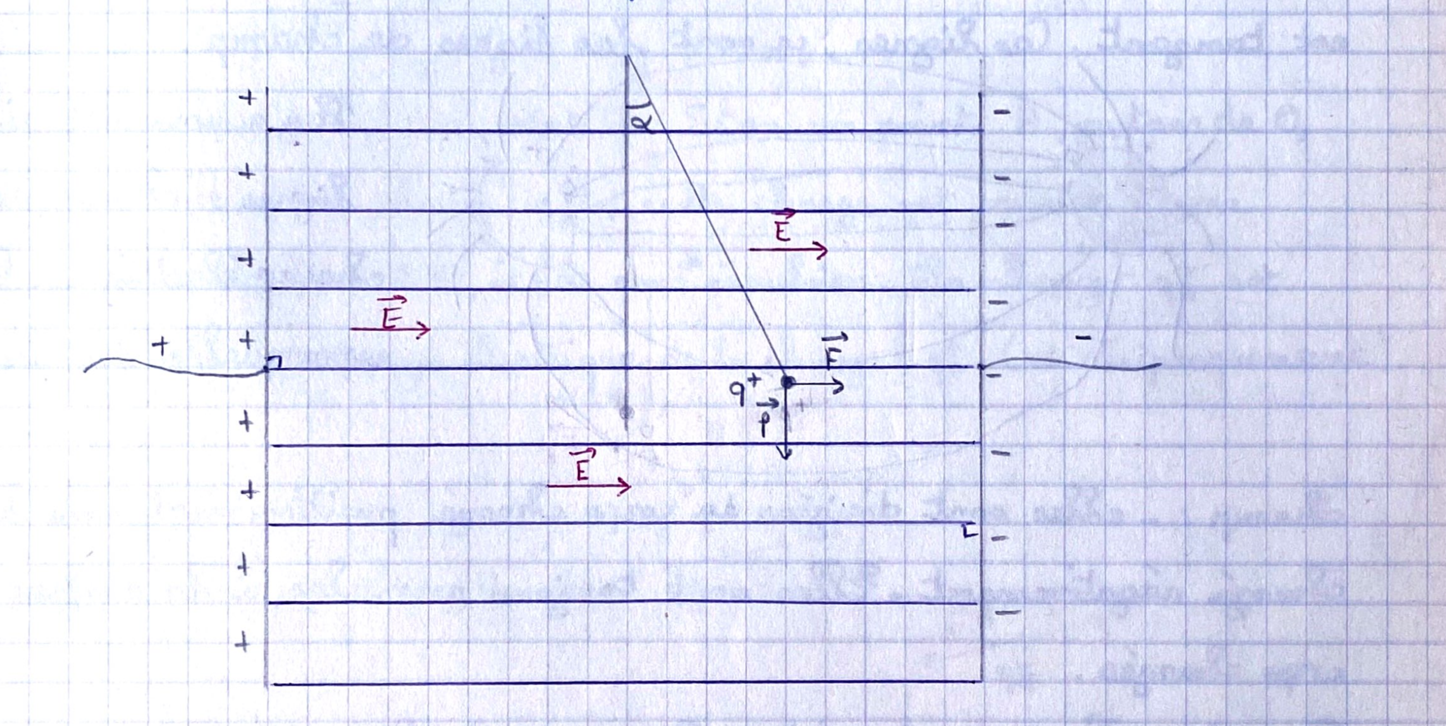
Si la charge centrale est positive, le champ est centrifuge.

Si " " négative, " est centripède.

2°/ Champ uniforme.

Entre 2 plaques planes et parallèles reliées aux pôles d'une machine électrostatique, les lignes de champs sont normales aux plaques, sont des droites parallèles entre elles.

Etudions le champ électrique régnant entre 2 plaques métalliques planes et parallèles, qui sont reliées aux pôles d'une machine électrostatique. On constate que les ligne de champ sont des



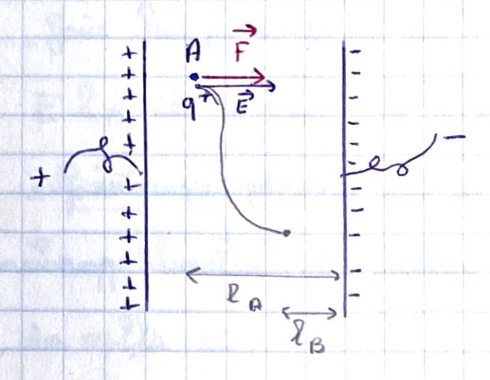
droites parallèles entre elles, perpendiculaires aux deux plaques.

On montre que dans cette région, une charge électrique est soumise à une force constante en tous points de cette région.

Donc le vecteur champ a partout la même direction, le même sens et le même module. Un tel champ s'appelle champ électrique uniforme : tous les vecteurs champ sont équipollents.

Son spectre électrique se caractérise par des lignes d'induction parallèles.

Notion de différence de potentiel ou d.d.p



Soit une charge ponctuelle q^+ placée en un point A dans un champ électrique uniforme que l'on maintient entre 2 plaques métalliques planes et parallèles reliées aux pôles d'une machine électrostatique.

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

Evaluons le travail W_{AB} de la force électrique $\vec{F}$ lorsque la charge électrique est amenée d'un point A à un point B.

$W_{AB} = F(l_A - l_B)$ La force étant constante, on démontre que son travail est indépendant du chemin suivi entre A et B.

$$W_{AB} = qE(l_A - l_B)$$

$$= q(El_A - El_B)$$

$$\frac{W_{AB}}{q} = El_A - El_B$$

Ainsi, le rapport constant $\frac{W_{AB}}{q}$ s'exprime en fonction d'une différence de 2 quantités qui caractérisent les états électriques ~~aux~~ des points A et B en fonction de leur position dans le champ. Par définition la quantité El_A s'appelera potentiel électrique du point A par rapport à la plaque négative. $V_A = El_A$.

$$V_B = El_B$$

$$\boxed{\frac{W_{AB}}{q} = V_A - V_B}$$

La quantité $V_A - V_B$ s'appelle différence de potentiel U_{AB} entre les points A et B.

Ainsi : $W = q\,U$ * (ou $W = q\,(V_A - V_B)$)

*Analogie avec $\begin{cases} W = p\,(V_2 - V_1) \\ W = F\,(l_A - l_B) \end{cases}$ p = pression $(V_2 - V_1)$ = accroissement de volume

Unité de d.d.p : le Volt

La différence de p. entre 2 points A et B d'un champ électrique est de 1 Volt si une charge électrique de valeur 1 Coulomb passant de A vers B effectue un travail de 1 Joule.

exemple : l'électron-Volt, unité d'énergie à l'échelle atomique, est l'énergie correspondant à la valeur de la charge élémentaire qui passe d'un lieu à un autre entre lesquels la d.d.p est de 1 Volt.

Valeur en Joule : $W = 1,6 \cdot 10^{-19}$ J

Cas général d'un champ électrique quelconque E (non uniforme)

Soit une charge électrique de signe et de valeur absolue quelconque q qui se déplace d'un point A à un autre point B quelconque d'un champ électrique.

On démontre alors que le travail de la force électrique est indépendant du chemin suivi entre A et B et qu'il s'exprime par la

produit de la charge q par la d.d.p. entre A et B.

$$W_{AB} = q(V_A - V_B) = q\,U_{AB}$$

Ainsi il en est de même que pour le champ électrique uniforme. Toutefois les potentiels de A et de B ne sont plus exprimés par des produits $E\ell_A$ et $E\ell_B$. Le champ $\vec{E}$ n'est pas constant

Remarque 1

Le potentiel diminue le long d'une ligne de champ et dans le sens de celle-ci.

A B C q^- q^+

$$V_A > V_B > V_C$$

Remarque 2

Une charge positive libre se dirige spontanément dans le sens des potentiels décroissants et une charge négative se dirige dans le sens des potentiels croissants.

+ d.d.p=U −

ℓ

Expression du champ électrique uniforme régnant entre 2 plaques planes et parallèles distantes de ℓ.

$$\boxed{U = E\ell} \qquad \text{d'où} \qquad E = \frac{U}{\ell}$$

Légalement, l'unité de champ électrique s'exprime par une unité dérivée de cette formule : le V/m.

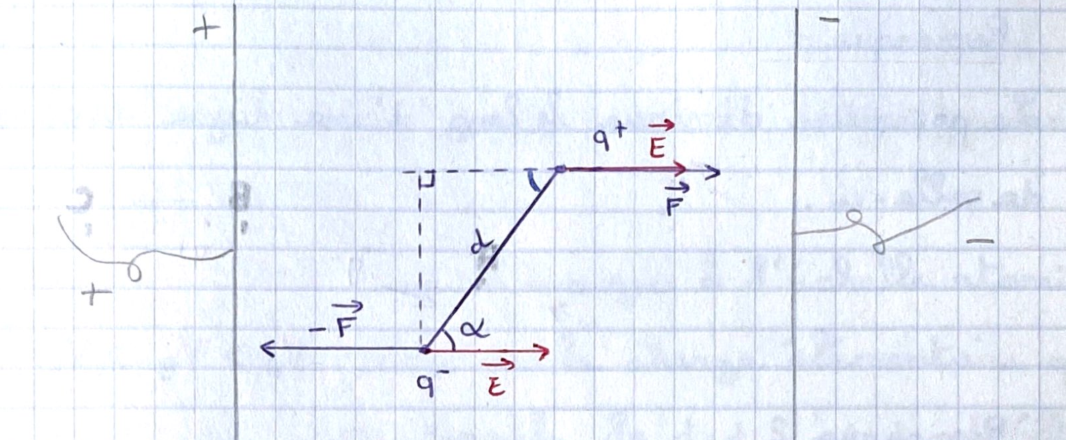
Action d'un champ électrique uniforme sur un bipôle.

Définition d'un dipôle (ou bipôle)

On appelle dipôle un système constitué par 2 charges électriques ponctuelles de même valeur absolue et de signe contraire séparées par une distance fixe d.

Action d'un champ

Dans un champ électrique uniforme, un dipôle est soumis à un couple,



$F = qE$

$M = F d \sin\alpha$

On applique la relation $F = qE$ à chacune des charges et on constate que l'action résultante est un couple de moment $M = Fd \sin\alpha$ ou

$M = qEd \sin\alpha$

$M = qd \; E \sin\alpha$

La quantité qd ne dépend que du dipôle et le caractérise. On l'appelle moment électrique.

Moment maximum pour $\alpha = \frac{\pi}{2}$ et nul pour $\alpha = 0$.

Electrocinétique . Etude générale du courant électrique

Effets du courant électrique

1°/ Circuit électrique (exp.)

Voir livre.

2°/ Effets

- calorifiques.
- chimiques.
- magnétiques.

3°/ Sens du courant

Les effets chimiques et magnétiques sont inversés lorsqu'on permutte les connections aux pôles du générateur. Ces 2 effets sont donc liés au sens du courant.

Sens conventionnel : conventionnellement, le courant sort de l'électrolyseur par l'électrode où se dégage l'hydrogène. Le pôle du générateur par lequel le courant sort est appelé pôle positif.

(le champ électrique se propage à la vitesse de la lumière) ~~ce qui~~ 8. Si l'on coupe le circuit, ~~il apparaît~~ le champ électrique subsiste (bien que un peu modifié), le mouvement des ē continue. Il apparaît rapidement des charges positives à l'une des faces de la coupure et des charges négatives à l'autre.

La d.d.p entre les points A et B est la même que celle qui existait initialement.

$$V_P - V_N = V_A - V_B$$

$$V_P = V_A \quad ; \quad V_N = V_B$$

Nature du courant électrique dans les métaux (ou graphite).

Il est dû à un mouvement d'ensemble de certains électrons des atomes du métal, que l'on appelle des électrons libres. Ces électrons passent d'un atome à un autre d'une façon permanente imprévisible et désordonnée. Ils se meuvent, dans le réseau métallique, dans toutes les directions et en changeant constamment de direction en passant rapidement d'un atome à l'autre.

Lorsque le métal fait parti d'un circuit fermé, les électrons libres subissent un mouvement de translation dans la même direction et le même sens, qui se superpose à l'agitation existante. Le sens de ce déplacement va du pôle (−) au pôle (+) du générateur à travers le circuit.

Les pôles d'un générateur ont ceci de caractéristique : ils présentent entre eux une d.d.p. constante. Il existe dans le circuit constitué entre ces deux bornes un champ électrique dont les lignes de champ parcourt le circuit dans le sens du + vers le −. C'est ce champ électrique qui met les électrons libres en mouvement ...

VI . Effet calorifique du courant électrique : Loi de Joule

incandescence .

\+ Laiton Fer-Nickel −

Effet Joule .

On constate que tout conducteur traversé par un courant est le siège d'un dégagement de chaleur. C'est l'effet Joule, qui est d'une importance très variable avec le conducteur (pour un même courant).

Facteurs influençants

L'intensité du courant $I = \frac{Q}{t}$.

Durée t de passage du courant

Le conducteur { longueur. section. nature de sa substance.

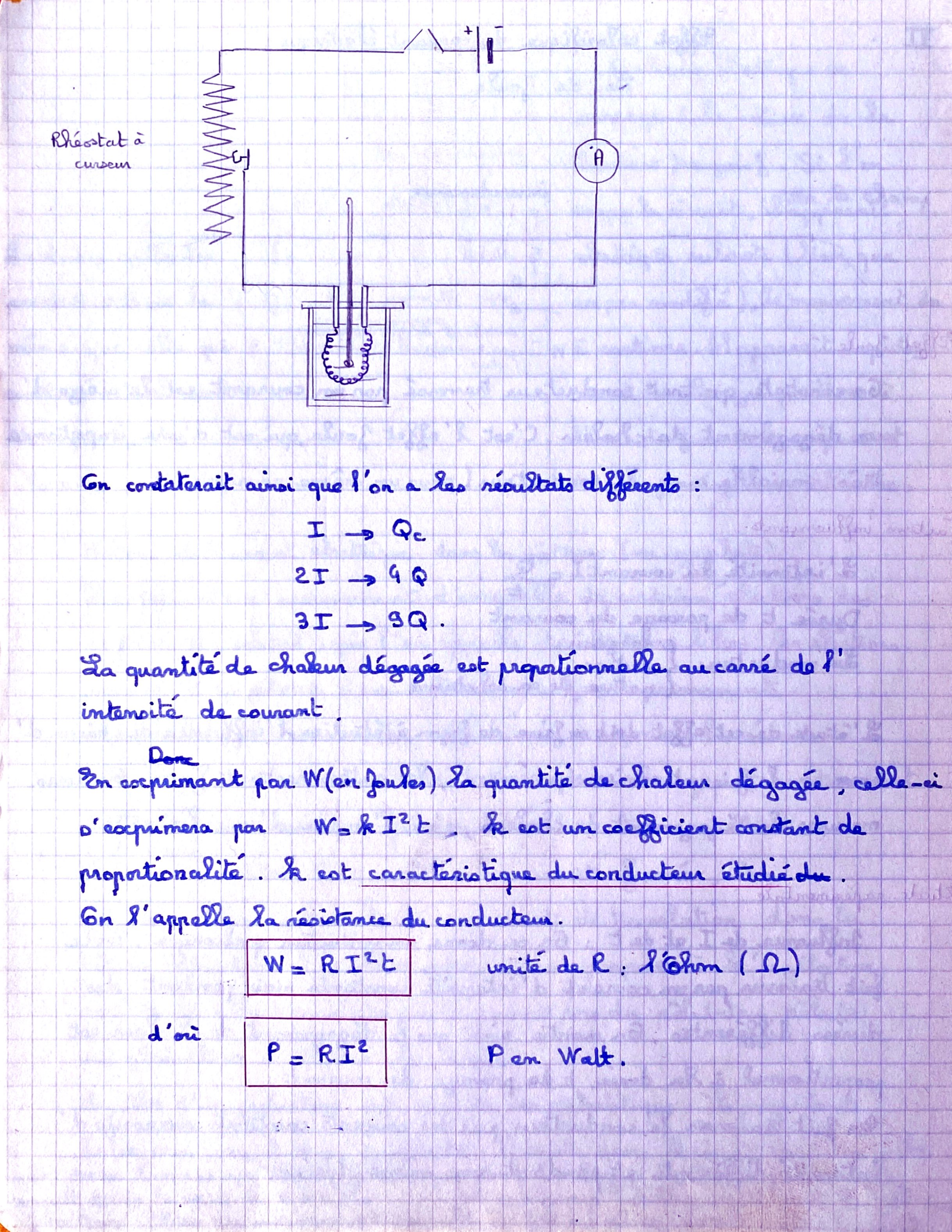
L'étude de cet effet doit se faire de façon à étudier l'influence de chacun d'eux en le faisant varier séparément, les autres restant fixés. On devra mesurer le dégagement de chaleur, d'où l'emploi d'un calorimètre.

figure 1 →

Etude expérimentale

Influence de I et de t : On se donne un conducteur quelconque. On le fait traverser par un courant d'intensité constante mais pendant des durées différentes. On montre ainsi que le dégagement de chaleur est proportionnel à la durée t de passage du courant.

On fait traverser le conducteur par des courants constants successifs d'intensité différente et pendant une même durée.



On constaterait ainsi que l'on a les résultats différents :

$I \rightarrow Q_c$

$2I \rightarrow 4Q$

$3I \rightarrow 9Q$.

La quantité de chaleur dégagée est proportionnelle au carré de l'intensité de courant.

Donc
En exprimant par W (en Joules) la quantité de chaleur dégagée, celle-ci s'exprimera par $W = k I^2 t$. k est un coefficient constant de proportionalité. k est caractéristique du conducteur étudié. On l'appelle la résistance du conducteur.

$$W = R I^2 t$$

unité de R : l'Ohm (Ω)

d'où

$$P = R I^2$$

P en Watt.

— La puissance calorifique dégagée dans un conducteur est mesurée par le produit de la résistance du conducteur par le carré de l'intensité de courant qui le traverse.

Remarque.

L'effet Joule est une transformation d'énergie électrique en chaleur et les formules $W = RI^2t$ ou $P = RI^2$ expriment d'une part l'énergie et la puissance calorifique dégagée, d'autre part l'énergie électrique ou la puissance électrique consommée.

Résistance d'un conducteur – Résistivité.

Conducteur filiforme. Facteurs influençant.

- longueur. l
- l'aire de la section. s
- la matière conductrice. ρ.

Nature	Fer	Fer	Fer	Cuivre
Longueur	l	$2l$	l	l
section	s	s	$2s$	s
Quantité de chaleur	W	$2W$	$\frac{W}{2}$	$W' < W$

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

De ces expériences on déduit que la résistance R d'un conducteur est filiforme est proportionnelle à sa longueur, inversement proportionnelle à l'aire de sa section et dépend de la matière

ρ caractérise la matière conductrice : résistivité.

ρ en $\Omega \cdot m$ Ohm-mètre.

Ordre de grandeur des résistivités des métaux purs : $10^{-8}\ \Omega.m$

La résistivité ρ d'une substance ne dépend pas que de sa nature chimique, elle dépend aussi de son état physique et notamment de la température. En chauffant un filament métallique, on constate une importante augmentation de la résistance électrique, donc aussi de la résistivité de la substance. Pour les métaux et pour les alliages la résistivité augmente avec la température.

La résistivité est proportionnelle à la température absolue (°K) :

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{T}{T_0} \qquad \rho = \rho_0 \cdot \frac{T}{273}$$

ρ

Pb

Supraconductivité.

O 7,2°K T

On a découvert : pour certains métaux, la résistivité s'annule brusquement à une température voisine du 0 absolu (quelques °K). La résistance du conducteur est alors nulle. C'est le phénomène de supraconductivité.

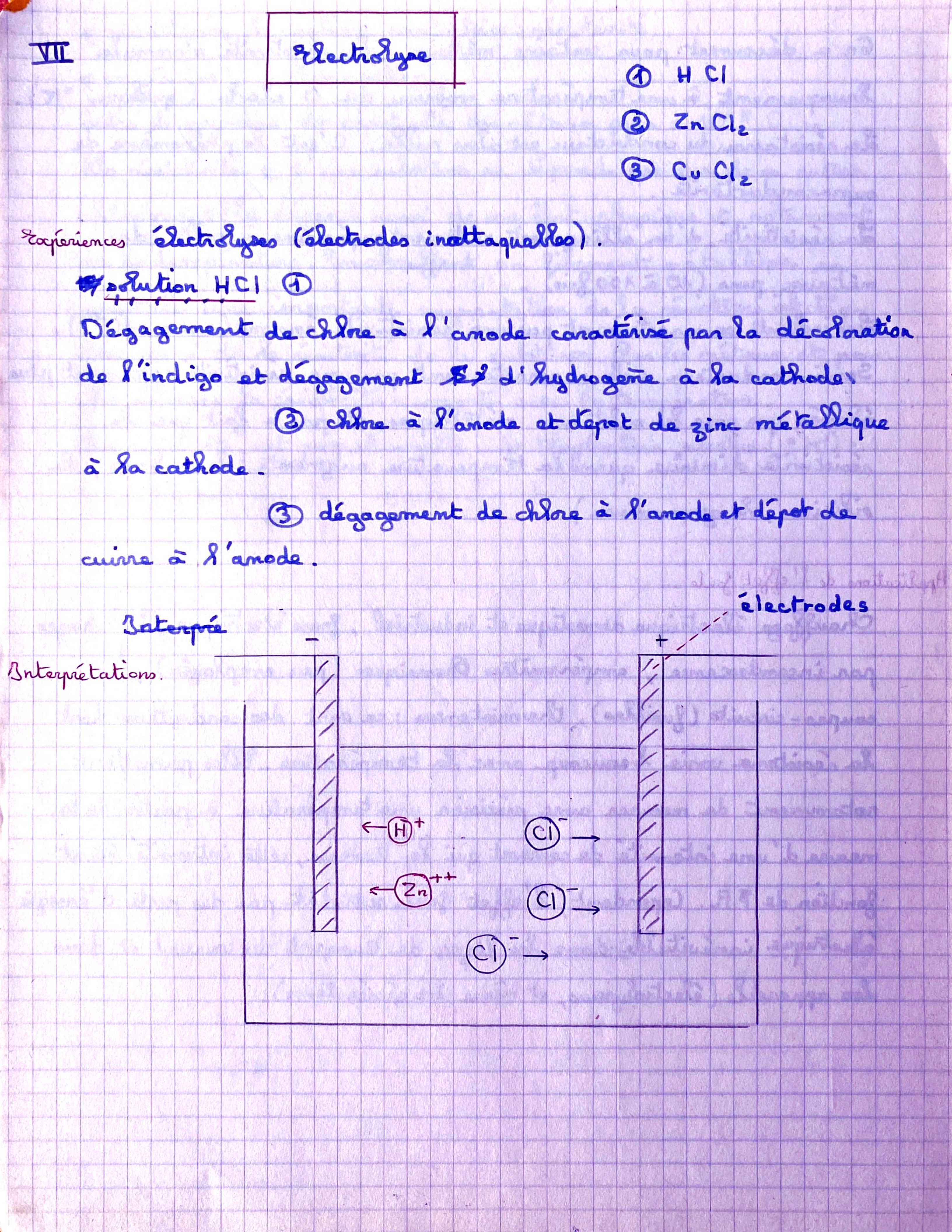
La résistivité d'un alliage est nettement supérieure à celle des métaux purs (10 à 100 fois).

Les isolants se caractérisent par une résistivité énorme (verre : 10^{-10}).

Semi-conducteur : ils se caractérisent par une résistivité nettement plus élevée que pour les substances métalliques, et par le fait que la résistivité diminue quand la température augmente (le carbone, le silicium, le germanium).

Applications de l'effet Joule.

Chauffage électrique domestique et industriel, fours électriques, éclairages par incandescence, ampèremètres thermiques (peu employés), coupes-circuits (fusibles), thermistences : ce sont des conducteurs dont la résistance varie beaucoup avec la température. Elles permettent notamment de mesurer avec précision une température à partir de la mesure d'une intensité de courant qui la traverse, cette intensité étant fonction de R. Cependant, l'effet Joule se traduit par des pertes d'énergie électrique inévitable dans les lignes de transport du courant et dans les appareils (électrolyseurs, et même ~~les~~ générateurs).



VII

Electrolyse

① H Cl

② $ZnCl_2$

③ $CuCl_2$

Expériences électrolyses (électrodes inattaquables).

~~s~~ solution HCl ①

Dégagement de chlore à l'anode caractérisé par la décoloration de l'indigo et dégagement ~~de~~ d'hydrogène à la cathode.

② chlore à l'anode et dépot de zinc métallique à la cathode.

③ dégagement de chlore à l'anode et dépot de cuivre à l'anode.

~~Interpré~~

Interprétations.

Les ions de la solution sont libres et indépendants les uns des autres. Sous l'influence du champ électrique régnant entre les 2 électrodes, ces ions se mettent en mouvement de la façon suivante : les anions (−) remontent le champ, les cations (+) descendent le champ et se dirigent vers la cathode (−). Ainsi le courant électrique dans un électrolyte est réalisé par un transport d'ions en sens inverse l'un de l'autre en fonction de leur signe.

Réactions aux électrodes.

Anode : des ions chlorure cèdent leur électron. Ils deviennent ainsi des atomes Cl qui aussitôt s'associent en molécule.

$$2\,Cl^- \rightarrow Cl_2\uparrow + 2\,\bar{e}$$

(Réaction commune)

Cathode :

① Les ions H^+ captent chacun un électron à la cathode. Ils deviennent ainsi des atomes H qui aussitôt forment des molécules H_2

$$2\,H^+ + 2\,\bar{e} \rightarrow H_2\uparrow$$

② $Zn^{++} + 2\,\bar{e} \rightarrow Zn\downarrow$

③ $Cu^{++} + 2\,\bar{e} \rightarrow Cu\downarrow$

Aspect quantitatif

Calculons la quantité d'électricité nécessaire pour que se dégage une demi-mole d'hydrogène et que se dépose une mole de zinc ou une mole de cuivre. Pour former un atome d'hydrogène, il faut 1 électron, soit une charge de $\bar{e} = 1{,}6 . 10^{-19}$ C.

$\frac{1}{2} H_2 \longmapsto \mathcal{N}$ atomes H $= \mathcal{N}\bar{e} = 6 . 10^{23} . 1{,}6 . 10^{-19} = 96\,500$ C

($\frac{1}{2}$ mole) − 1 Faraday = 96 500 C
($\mathcal{F}$)

Trouver une loi simple entre cette quantité $\frac{Q}{m}$, la masse molaire de l'élément déposé et le nombre de charges élémentaires n portée par l'ion.

$Q = n \mathcal{N} \bar{e}$ ✗ Exercice - Solution proposée

Pour dégager une mole d'hydrogène (A), il faut une quantité d'électricité $Q = \mathcal{N} \bar{e}$ (H^+)

Pour dégager une mole de zinc (A), il faut une quantité d'électricité $Q = 2 \mathcal{N} \bar{e}$ (Zn^{++}) avec $n = 2$

De même pour le cuivre $Cu^{++}_{en\ sel}$ $(n = 2)$

Nous avons donc :

	1 mole	il faut	quantité d'électricité
hydrogène	A	⟼	$\mathcal{N} \bar{e} = \mathcal{F}$
Zinc ou cuivre	A	⟼	$2 \mathcal{N} \bar{e} = 2 \mathcal{F}$

Généralisation : Corps de masse atomique A et de valence n ⟼ $n \mathcal{F}$ Coulomb (avec $\mathcal{F} = 96\,500$ C)

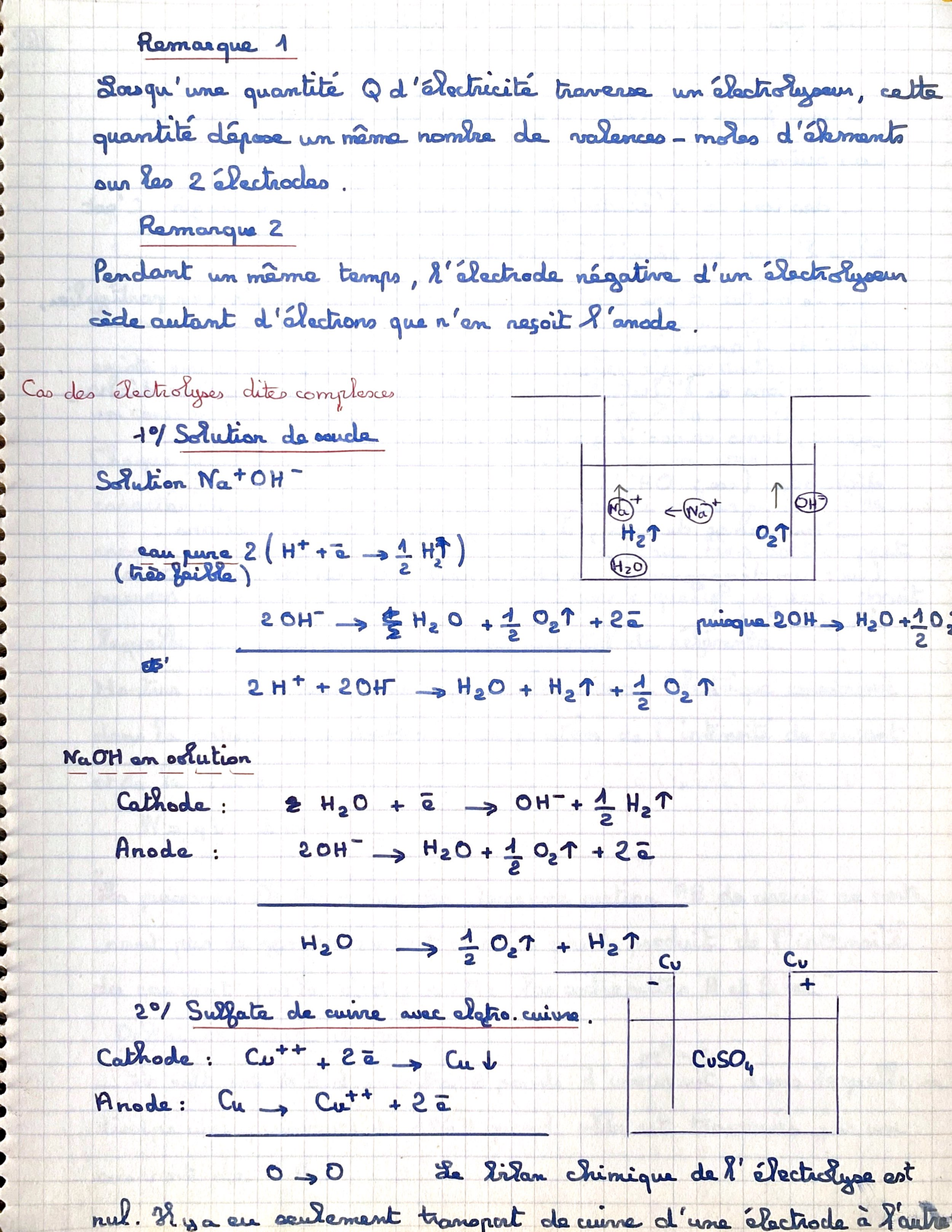
Conclusion : $\frac{A}{n} \mapsto \mathcal{F}$ ✗

- Pour déposer une mole (H^+) $\xrightarrow{\text{il faut}}$ $1 \mathcal{F}$ $n = 1$
- " " (Zn^{++}) ⟶ $2 \mathcal{F}$ $n = 2$
- " " (Al^{+++}) ⟶ $3 \mathcal{F}$ $n = 3$

Si l'on désigne par A une mole de l'élément déposé à l'anode ou à la cathode, n étant la valence, on constate que 1 Faraday dépose une masse égale à $\frac{A}{n}$ grammes d'un élément quelconque.

$\frac{A}{n}$ = valence-mole

C'est la loi dite de Faraday.



Remarque 1

Lorsqu'une quantité Q d'électricité traverse un électrolyseur, cette quantité dépose un même nombre de valences-moles d'éléments sur les 2 électrodes.

Remarque 2

Pendant un même temps, l'électrode négative d'un électrolyseur cède autant d'électrons que n'en reçoit l'anode.

Cas des électrolyses dites complexes

1°/ Solution de soude

Solution Na^+OH^-

eau pure (très faible) $2\left(H^+ + \bar{e} \rightarrow \frac{1}{2} H_2\uparrow\right)$

$$2\,OH^- \rightarrow H_2O + \frac{1}{2}O_2\uparrow + 2\bar{e} \qquad \text{puisque } 2OH \rightarrow H_2O + \frac{1}{2}O_2$$

d'

$$2H^+ + 2OH^- \rightarrow H_2O + H_2\uparrow + \frac{1}{2}O_2\uparrow$$

NaOH en solution

Cathode : $H_2O + \bar{e} \rightarrow OH^- + \frac{1}{2}H_2\uparrow$

Anode : $2OH^- \rightarrow H_2O + \frac{1}{2}O_2\uparrow + 2\bar{e}$

$$H_2O \rightarrow \frac{1}{2}O_2\uparrow + H_2\uparrow$$

2°/ Sulfate de cuivre avec électro. cuivre.

Cathode : $Cu^{++} + 2\bar{e} \rightarrow Cu\downarrow$

Anode : $Cu \rightarrow Cu^{++} + 2\bar{e}$

$0 \rightarrow 0$ Le bilan chimique de l'électrolyse est nul. Il y a eu seulement transport de cuivre d'une électrode à l'autre

Cette fois, c'est la substance de l'électrode qui agit.

D'une façon générale, il y a électrolyse complexe dans les cas suivants :

– des ions de l'électrolyte sont trop stables pour réagir. C'est alors l'eau qui réagit électroniquement.

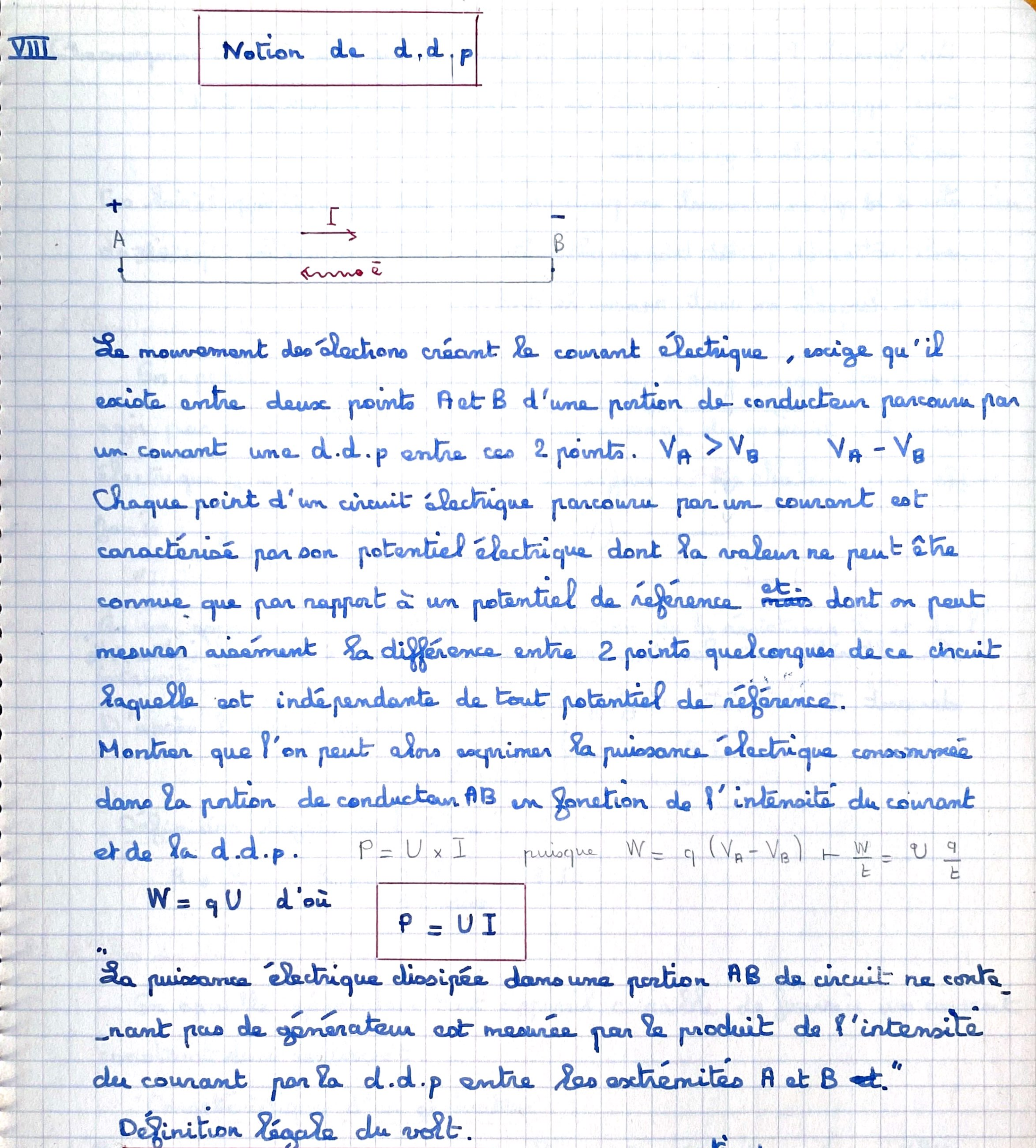
– le métal d'une électrode peut également réagir (en particulier, celui de l'anode).

– des ions de l'électrolyte sont des ions complexes qui se déchargent ; dans ce cas il y a décomposition de l'ion après sa décharge (ex : OH^-).

– En dehors de ceci, il peut y avoir d'autres réactions. (ex : un dégagement de chlore peut attaquer les produits de l'électrolyte).

VIII

Notion de d.d.p



Le mouvement des électrons créant le courant électrique, exige qu'il existe entre deux points A et B d'une portion de conducteur parcouru par un courant une d.d.p entre ces 2 points. $V_A > V_B$ $V_A - V_B$

Chaque point d'un circuit électrique parcouru par un courant est caractérisé par son potentiel électrique dont la valeur ne peut être connue que par rapport à un potentiel de référence ~~mais~~ et dont on peut mesurer aisément la différence entre 2 points quelconques de ce circuit laquelle est indépendante de tout potentiel de référence.

Montrer que l'on peut alors exprimer la puissance électrique consommée dans la portion de conducteur AB en fonction de l'intensité du courant et de la d.d.p. $P = U \times I$ puisque $W = q(V_A - V_B) \vdash \frac{W}{t} = U\frac{q}{t}$

$W = qU$ d'où

$$P = UI$$

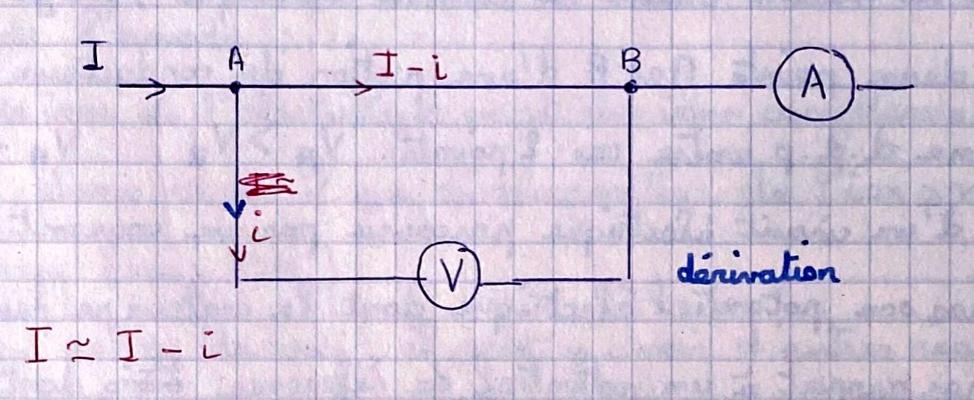
" La puissance électrique dissipée dans une portion AB de circuit ne contenant pas de générateur est mesurée par le produit de l'intensité du courant par la d.d.p entre les extrémités A et B ~~et~~. "

Définition légale du volt.

" Le volt est la d.d.p entre 2 points d'une portion de circuit dans laquelle se dissipe une puissance de 1 Watt quand elle est traversée par un courant de 1 A "

La formule P = UI s'applique à toute portion de circuit comprenant tout appareil consommant de l'énergie électrique et à l'exclusion de tout générateur.

Les d.d.p. se mesurent en pratique avec un appareil appelé voltmètre et qui est toujours branché en dérivation sur les 2 points entre lesquels on veut mesurer la d.d.p.



Le voltmètre est alors traversé par un courant i dont l'intensité devant I doit être négligeable.

IX

Les lois d'Ohm

Ces lois expriment des d.d.p. existant entre les extrémités d'une portion de circuit en fonction des caractéristiques de cette portion de circuit.

Loi d'Ohm pour une Résistance.

— On appelle résistance tout conducteur qui a pour unique fonction d'agir par sa résistance qu'il oppose au passage du courant. L'énergie électrique y est donc uniquement transformée en chaleur par effet Joule.

A, B, I, R

On va exprimer la d.d.p. U en fonction de la résistance R et de l'intensité I.

D'après l'effet Joule : $P = RI^2$, $P = UI$ $\Rightarrow$ $U = RI$

Définition légale de l'Ohm

$$R = \frac{U}{I} \qquad R = \frac{1\ \text{Volt}}{1\ \text{Ampère}} = 1\ \Omega$$

Loi d'Ohm ~~da~~ pour un générateur

— On appelle générateur tout appareil capable de fournir un courant constant dans un circuit.

· **Caractéristiques d'un générateur.**

En circuit ouvert, c'est-à-dire lorsque le générateur ~~de~~ ne débite aucun courant, il existe entre ses pôles une différence de potentiel permanente caractéristique du générateur qu'on appelle force électromotrice du générateur que l'on désigne par la lettre E. Elle s'

exprime en volt.

Lorsque le générateur débite un courant, il est lui-même traversé par le courant qu'il produit, il est le siège d'un effet Joule et il possède donc une résistance interne r.

La puissance électrique totale fournie au circuit <u>tout entier</u> par le générateur a pour expression $P = EI$

$V_P - V_N$	$I_{10^{-2}}A$
3,7	3
3,5	4
3,3	5
3,1	6
2,9	7
2,7	8
2,3	10
2,0	12
1,7	14
1,3	16
0,9	18

Construire le graphe sur papier millimétrée.

Interpreter les caractéristiques.

En déduire la loi d'Ohm pour un générateur.

$V_P - V_N =$

Démonstration dans la partie exercice.

$$V_P - V_N = E - rI$$

Retrouvons théoriquement cette loi expérimentale.

P + - N

Puissance électrique fournie par le générateur : P_G

$$\begin{cases} P_G = (V_P - V_N)I + rI^2 \\ P_G = EI \end{cases}$$

d'où $V_P - V_N = E - rI$ Ainsi, on retrouve théoriquement la loi expérimentale. D'où :

Loi d'Ohm pour un générateur.

— "La d.d.p entre les bornes d'un générateur est égal à sa force électromotrice diminuée du produit de sa résistance interne par l'intensité du courant qui le traverse (chutte ohmique de tension)."

Loi d'Ohm pour un récepteur.

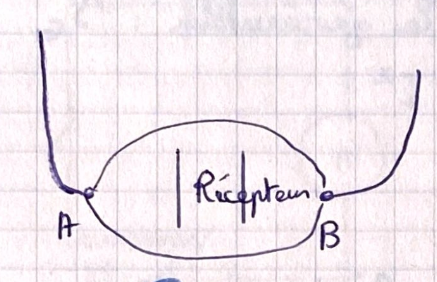
Récepteur

On appelle récepteur tout appareil qui transforme de l'énergie électrique en une autre énergie que la chaleur. Ex : les électrolyseurs, les moteurs électriques.

Cependant tous les récepteurs sont le siège d'un effet Joule et possèdent donc une résistance interne r'.

Exprimons la puissance électrique transformée par le récepteur en une autre puissance que la puissance calorifique. Cette puissance $\mathcal{P}'$ peut s'exprimer par analogie avec $\mathcal{P} = E\,I$, par le produit de l'intensité du courant I par une grandeur de même nature que E et qui caractérise le récepteur et que l'on appelle sa force contre-électromotrice E' (f.c.e.m)

$$\boxed{\mathcal{P}' = E'\,I} \qquad \text{d'où} \qquad E' = \frac{\mathcal{P}'}{I}$$



Puissance électrique totale consommée entre A et B = Puissance $\mathcal{P}'$ transformée en une autre énergie que la chaleur + la puissance $r'I^2$ calorifique dégagée par effet Joule.

$$\mathcal{P}_{AB} = \mathcal{P}' + r'I^2$$

$$U\,I = E'I + r'I^2$$

$$\Downarrow$$

$$\boxed{(V_A - V_B) = E' + r'\,I}$$

– "La d.d.p. aux bornes d'un récepteur est égale à la f.c.e.m E' addi du récepteur augmentée du produit de sa résistance interne r' par l'intensité I du courant qui le traverse".

X

Les lois de Pouillet

Ces lois expriment l'intensité de courant qui parcourt le circuit en fonction de ce qui le constitue, c'est-à-dire en fonction des paramètres qui caractérisent ce circuit.

Générateur + résistance R

L'intensité du courant sera fonction de la f.e.m. E du générateur, de sa résistance interne r et de R.

$U_{AB} = RI$. U_{AB} représente la d.d.p. entre les pôles du générateur (à condition que la résistance des fils de connection soit négligeable).

$$\begin{cases} U_{AB} = U_{PN} = E - rI \\ U_{AB} = RI \end{cases}$$

$E = (R + r)\, I$

d'où

$$I = \frac{E}{R + r}$$

Générateur + récepteur + résistance R

$U_{AB} = RI$

$U_{PN} = E - rI$

$U_{BC} = E' + r'I$

$U_{PN} = U_{AB} + U_{BC}$

$E - rI = RI + E' + r'I$

$E = (R + r + r')\, I + E'$

$$I = \frac{E - E'}{R + r + r'}$$

Remarque

La f.c.é.m E' se retranche de E. Elle fait donc diminuer I, d'où son nom de f.c.é.m.

Remarquons que si l'on fait varier R, on fait varier I en sens inverse.

Généralisation aux cas de plusieurs générateurs, récepteurs et résistances, en série.

Appelons $\sum E$ la somme de toutes les f.é.m.

$\sum E'$ " " f.c.é.m.

$\sum R$ " " les résistances du circuit y compris celles des récepteurs et générateurs.

$$I = \frac{\sum E - \sum E'}{\sum R}$$

ou encore : $\sum E = \sum R . I + \sum E'$

Association de 2 générateurs en série.

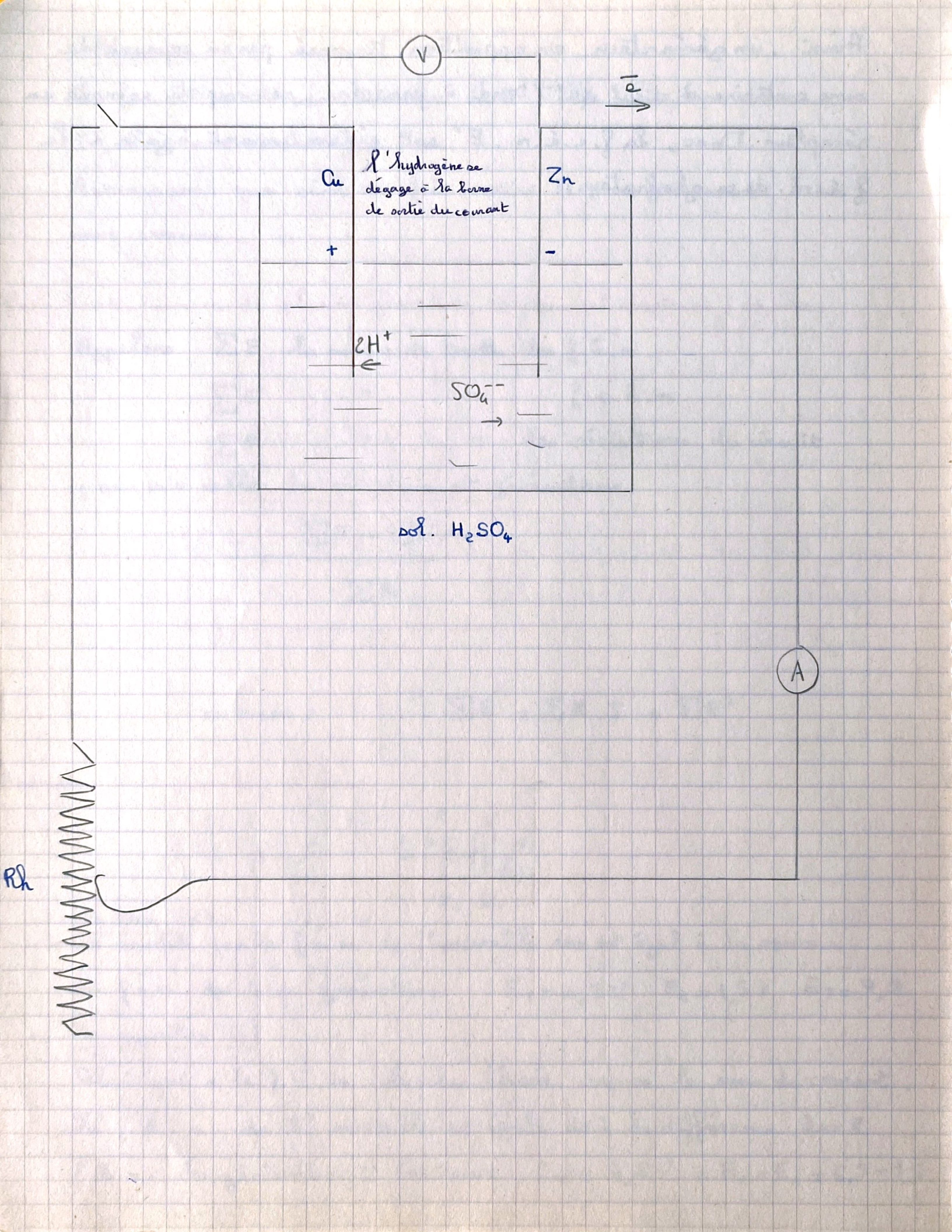
E_1 E_2
P + | − + | − N (1)

E E'
P + | − − | + N (2)
E_2 E_1

En série (1)
On constate que la f.é.m de l'ensemble ~~des~~ est égal à la somme des f.é.m. des deux générateurs $E_1 = 6,3V$ $E_2 = 1,5V$ $E_T = 7,8$

En opposition (2)
Celui qui a la f.é.m. la plus élevée impose le sens du courant. La f.é.m. de l'ensemble est égale ~~d~~ à la différence des 2 f.é.m. des générateurs. On trouve $E_T = 4,8V = E_2 - E_1 = 6,3 - 1,5$

Ainsi, un générateur en opposition traversé par un courant de sens contraire à celui qu'il tend à produire se comporte comme un récepteur. Donc, la f.c.é.m. E' est généralement égale à la f.é.m. de ce générateur.


V
I
Cu
l'hydrogène se dégage à la borne de sortie du courant
Zn
+
-
2H+
SO4--
sol. H2SO4
A
Rh

XI

Les piles (hydroélectriques)

Définition

expérience : montage ci-contre. On constate que si les 2 électrodes sont de nature différente, il existe une d.d.p. permanente entre les 2 électrodes et un courant traverse le circuit, même si l'on change la nature de l'électrolyte. Ce système constitue ce que l'on appelle pile hydroélectrique. D'une façon générale, on réalise une pile en immergeant dans un électrolyte 2 électrodes différentes.

Pile Volta $Cu - H^+ - Zn$ $E = 1,2\ V$

C'est la pile représentée ci-contre (à zinc amalgamé). On constate qu'en circuit ouvert, on note une d.d.p $U \simeq 1,2\ V$ et, circuit fermé, ∃ un courant électrique circule dans le circuit de l'électrode en cuivre vers l'électrode en zinc. L'électrode Cu est donc le pôle (+) du générateur et l'électrode de Zn est le pôle (−). Pendant le passage du courant, il y a dégagement d'hydrogène sur l'électrode en cuivre cependant que le zinc de l'autre électrode disparaît lentement en se transformant en ions Zn^{++}.

Interprétation

Electrode (+) $2H^+ + 2\bar{e} \rightarrow H_2 \uparrow$

Electrode (−) $Zn \rightarrow Zn^{++} + 2\bar{e}$

Les ions H^+ captent des électrons qu'ils prennent à l'électrode en cuivre, donc cette électrode en cuivre devient positive. Les atomes de zinc de l'autre électrode deviennent ions zinc Zn^{++} en abandonnant des électrons à l'électrode en zinc. Cette électrode est donc négative. La réaction se

continue tant que les électrons sortant de ~~une~~ l'électrode négative peuvent parvenir à l'électrode positive à travers le circuit extérieur (les électrons ne peuvent circuler dans l'électrolyte, seuls les ions peuvent s'y mouvoir).

Bilan de l'électrolyse :

$$\begin{cases} 2H^+ + 2\bar{e} \longrightarrow H_2\uparrow \\ Zn \longrightarrow Zn^{++} + 2\bar{e} \end{cases}$$

$$\underset{ox.}{2H^+} + \underset{réd.}{Zn} \longrightarrow \underset{réd.\ ox.}{Zn^{++}} + \underset{oxy.\ ~~éré~~.}{H_2\uparrow}$$

On retrouve la réaction d'oxydo-réduction qui est celle des ions H^+ d'un acide sur un métal.

Remarque 1 :

L'énergie de cette réaction qui apparaît sous forme calorifique dans la réaction purement chimique, apparaîtra dans la pile sous forme d'énergie électrique. Une pile est un transformateur d'énergie chimique en énergie électrique.

Pile Leclanché -

Remarque 2

Le système chimique de la pile Volta en fonctionnement qui initialement est celle-là : Cu – H^+ – Zn , devient, dès que la pile fonctionne Cu, H_2 – H^+ – Zn . La présence permanente d'hydrogène modifie légèrement (diminution) la f.e.m. initiale. On dit que la pile s'est polarisée.

Pile Leclanché $\overset{(+)}{\underset{g}{C}}, MnO_2 - NH_4^+Cl^- - \overset{(-)}{Zn}$ $E \simeq 1,5$ V

Réaction à l'anode. $NH_4^+ \rightarrow NH_3 + H^+$

$$2MnO_2 + 2H^+ + 2\bar{e} \rightarrow Mn_2O_3 + H_2O$$

Electrode (–) : $Zn \rightarrow Zn^{++} + 2\bar{e}$

Avantages : il n'y a pas de dégagement gazeux et on récupère d'avantage d'énergie électrique par oxydation de l'hydrogène (en empêchant que les ions hydrogènes soient réduits – Il reste de l'ammoniac en solution.

Pile Daniel $\overset{(+)}{Cu} - \underset{(SO_4^{--})}{Cu^{++}} \vdots \underset{(SO_4^{--})}{Zn^{++}} - \overset{(-)}{Zn}$ E ≃

(+) $Cu^{++} + 2\bar{e} \rightarrow Cu$

(–) $Zn \rightarrow Zn^{++} + 2\bar{e}$

Bilan: $Cu^{++} + Zn \rightarrow Cu + Zn^{++}$ ($2\bar{e}$)

ox. réd.

C'est une oxydation du zinc par les ions cuivriques. Il y a transfert de 2 électrons d'un atome de zinc à un ion cuivrique.

Pile à Hydrogène. $\overset{(+)}{Ni}, O_2 - \underset{(Na^+)}{OH^-} - H_2, \overset{(-)}{Ni}$

Un électrolyseur à électrodes métalliques inattaquables (Ni - Pt) et à solution de soude présente lorsqu'il a fonctionné une d.d.p. permanente entre ses électrodes en circuit ouvert alors initialement cette d.d.p. est nulle. L'explication est la suivante : les 2 électrodes sont recouvertes momentanément d'une fine gaine gazeuse adsorbée qui est de l'oxygène à l'anode et de l'hydrogène à la cathode et le système chimique est constitué par $\overset{(+)}{Ni}, O_2 - \underset{(Na^+)}{OH^-} - H_2, Ni^{(-)}$.
Les 2 électrodes sont devenues dissymétriques. Le système momentanément est devenu une pile qui possède une f.e.m. et qui peut débiter du courant jusqu'à disparition des gaines gazeuses.

Electrode (+)

$$\frac{1}{2} O_2 + H_2O + 2\bar{e} \longrightarrow 2 OH^-$$

$$\frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2O$$

Electrode (-)

$$H_2 + 2 OH^- \longrightarrow 2 H_2O + 2\bar{e}$$

$H_2 + \frac{1}{2} O_2 +$

Bilan : $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow H_2O$

L'énergie de cette réaction est récupérée sous forme électrique. Pour réaliser une pile satisfaisante suivant ce principe, il faut pouvoir maintenir constamment la présence des 2 gaz avec deux "électrodes". On devra donc alimenter ces 2 élec. par un courant gazeux et elles devront être poreuses et faites d'un métal convenablement choisi. On réalise ainsi une pile dite à combustible.

Polarisation des électrodes
Principe des accumulateurs

Expérience

figure →

1. Commutons en 1

On constate un ~~fér~~ phénomène d'électrolyse avec dégagement gazeux sur les 2 électrodes, hydrogène à la cathode et oxygène à l'anode. En outre, l'anode se recouvre d'un corps marron qui est du dioxyde de plomb PbO_2. Au bout d'un certain temps, ouvrons le circuit. Le voltmètre indique une d.d.p. permanente de 2 volts environ entre les 2 électrodes alors que cette d.d.p. était nulle au départ, les électrodes étant initialement identiques. Les électrodes se sont polarisées en ce sens qu'il s'est formé un nouveau corps qui demeure en contact avec l'électrode. Le système électrochimique initial est modifié.

Etat Initial (−) Pb — H_2SO_4 — Pb (+)

" final (−) Pb — H_2SO_4 — PbO_2, Pb (+)

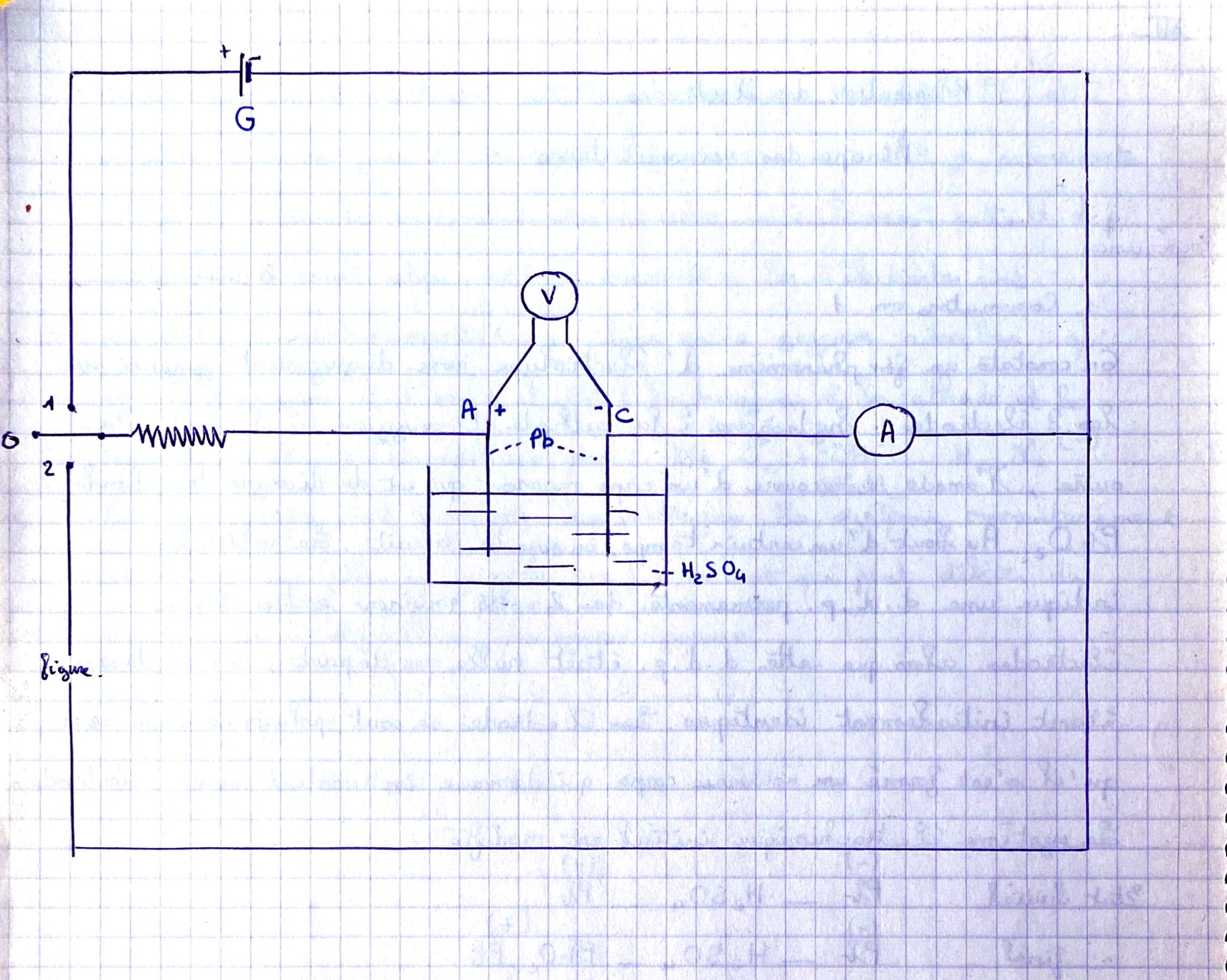
Le système répond à la définition des piles.

2. Commutons en 2.

On observe le passage d'un courant permanent dans le circuit qui dure un certain temps puis décroît rapidement. On constate que la d.d.p. est redevenue nulle entre les 2 électrodes. On observe que les 2 électrodes sont devenues symétriques, PbO_2 ayant disparu.

Ainsi l'appareil a fonctionné comme un générateur.

Il débite donc une certaine quantité de l'électricité qui l'a traversé en tant que récepteur. Un tel système est appelé accumulateur. Dans la 1re opération, on le charge ; dans la seconde, on le décharge.



On constate que la quantité d'électricité que peut débiter l'accumulateur en une opération de décharge, augmente avec la durée de la charge et avec le nombre d'opérations de charges et de décharges

Cette quantité d'électricité est en rapport avec la masse de produits (PbO_2) déposée sur les électrodes.

La f.é.m. E de cet accumulateur est indépendante de la dimension et de la forme des électrodes, de leur écartement. Elle est essentiellement caractéristique du système chimique de l'accumulateur. Les autres paramètres influent sur la résistance interne.

Charge : $Pb + 2H_2O \rightarrow PbO_2 + 4H^+ + 4\bar{e}$

Cathode, $H^+ + \bar{e} \rightarrow \frac{1}{2} H_2$

$Pb + 2H_2O \rightarrow PbO_2 + 2H_2 \uparrow$

Décharge

Anode : $PbO_2 + 4H^+ + 2\bar{e} \rightarrow Pb^{++} + 2H_2O$
(SO_4^{--})

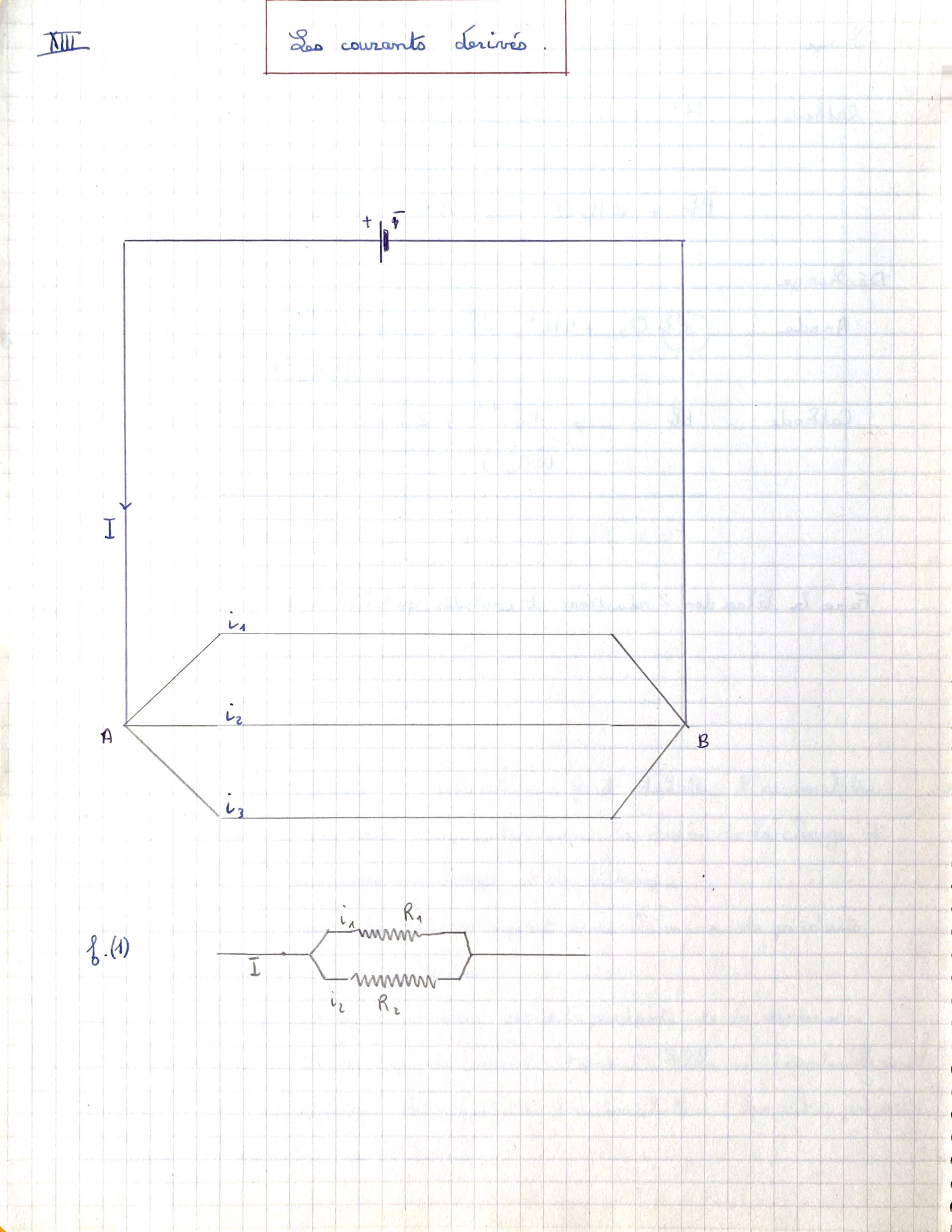
Cathode : $Pb \rightarrow Pb^{++} + 2\bar{e}$
(SO_4^{--})

$Pb + PbO_2 + 4H^+ \rightarrow 2Pb^{++} + 2H_2O$

Faire le bilan des 2 réactions et constater qu'elles sont redevenues symétriques

XIII

Les courants dérivés.



On appelle courants dérivés l'ensemble constitué par plusieurs portions de circuit qui ont des extrémités communes. On dit encore que ces portions de circuit sont en parallèle ou en dérivation.
Le courant électrique se partage, dans les différentes portions dérivées, en fonction de leurs caractéristiques.

Lois générales.

- Les portions de circuit en dérivation ont la même d.d.p. entre leurs extrémités.

- La somme des intensités des courants dérivés est égale à l'intensité du courant principal. $I = i_1 + i_2 + i_3$

Résistances en dérivations (8.1).

Supposons que l'on substitue à ces 2 résistances, une résistance unique R qui ne modifierait pas la valeur du courant principal I. Une telle résistance morte est appelée résistance équivalente à l'ensemble (R_1, R_2).
Sa valeur doit s'exprimer en fonction de R_1 et R_2.

$$\begin{cases} U_{AB} = RI = R_1 i_1 = R_2 i_2 \\ I = i_1 + i_2 \end{cases}$$

$$I = \frac{U_{AB}}{R} = \frac{U_{AB}}{R_1} + \frac{U_{AB}}{R_2}$$

$$\boxed{\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

Ainsi, l'inverse de la résistance équivalente à une ensemble de résistances en dérivation est égale à la somme des inverses des résistances en dérivation.

Shunt des ampèremètres

Pour étendre le domaine d'utilisation tout en conservant son maximum d'efficacité, on dérive une fraction importante du courant d'intensité à mesurer dans une résistance commune branchée en parallèle appelée shunt. ~~La valeur~~ Le rapport $\frac{i}{I}$ est bien déterminé par les valeurs de la résistance du cadre de l'appareil et celle du shunt.

Et
$$U = r_A\, i = R_s(I - i)$$

~~$$U = \frac{r_A i}{R_s(I-i)} = 1.$$~~

donc
$$r_A\, i = R_s I - R_s i$$
$$i\,(R_s + r_A) = R_s I$$
$$\frac{i}{I} = \frac{R_s}{R_s + r_A} = \frac{1}{1 + \frac{r_A}{R_s}} = \frac{1}{100}$$

$$\boxed{\frac{i}{I} = \frac{1}{1 + \frac{a}{s}}}$$

Voltmètres.

voltmètre

R

i

I

A

(I - i)

B

Le voltmètre est un ampèremètre sensible associé à une grande résistance en série avec l'appareil, l'ensemble étant branché en dérivation entre les 2 points où l'on veut mesurer la d.d.p.
Une fraction i du courant principal I parcourt le cadre de l'appareil. La rotation de ce cadre indiquée par la déviation de l'aiguille est proportionnelle à i. Or, le courant i est proportionnel à la d.d.p. U_{AB} à mesurer : $U_{AB} = Ri$.
La graduation en intensité du courant est remplacée par une échelle sur laquelle on a inscrit les produits Ri, c'est-à-dire la tension U_{AB}.
Condition de validité : la dérivation de i entraine nécessairement une variation de la d.d.p. U_{AB} à mesurer. Il faut faire en sorte que cette modification soit négligeable. Pour cela, la fraction i doit être très petite devant I. La résistance du voltmètre doit être très grande devant la résistance de la portion AB. La résistance propre du cadre est peu élevée (quelques Ohms), donc insuffisante. C'est pourquoi on lui associe une résistance R dont la valeur est de l'ordre de plusieurs milliers d'Ohms (jusqu'à 20 000 Ω)

Associations des générateurs.

Les générateurs associés sont généralement de caractéristiques identiques.

1°/ Série.

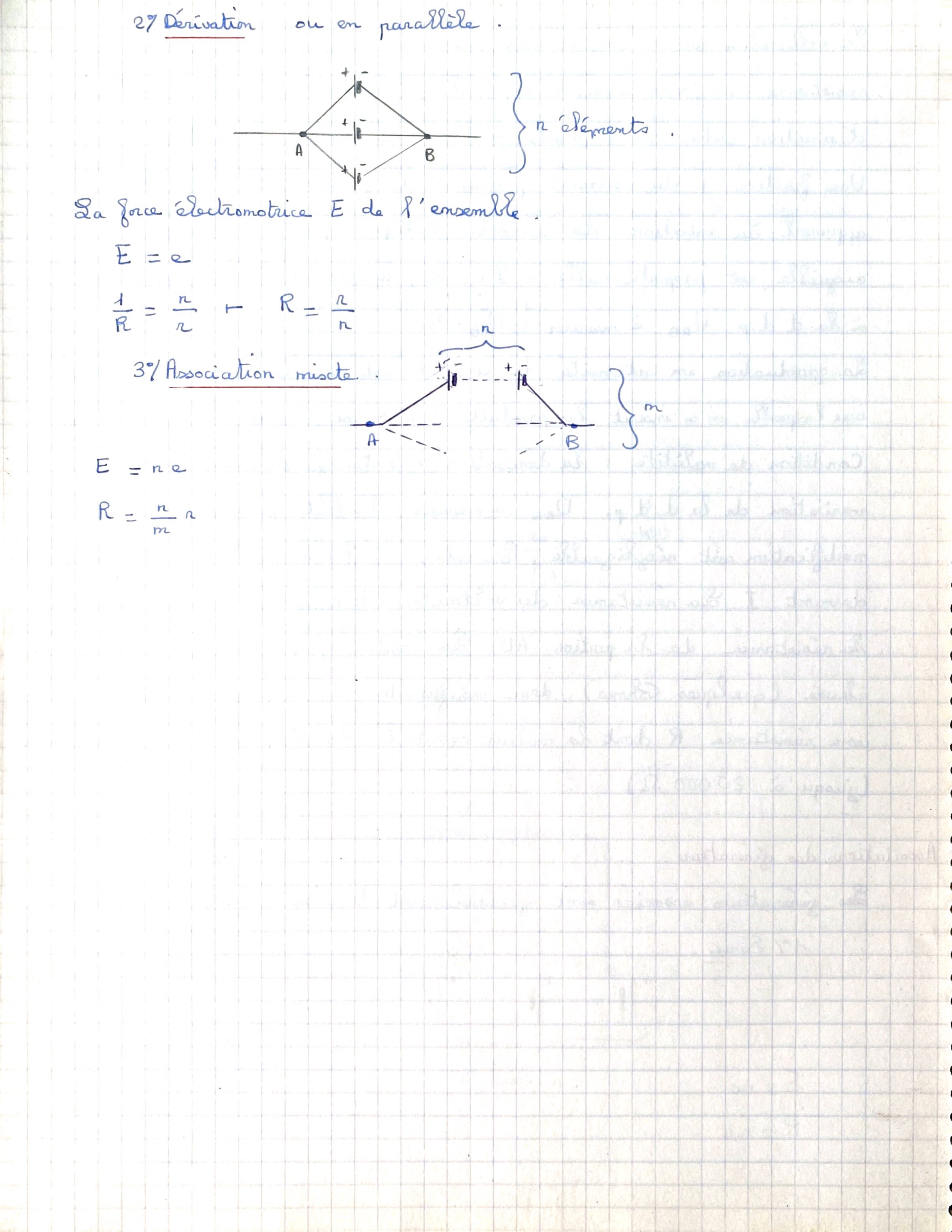
e, r

+ − + − + −

n éléments

$E = ne$

$R = nr$



2°/ Dérivation ou en parallèle.

La force électromotrice E de l'ensemble.

$$E = e$$

$$\frac{1}{R} = \frac{n}{r} \quad \vdash \quad R = \frac{r}{n}$$

3°/ Association mixte.

$$E = n e$$

$$R = \frac{n}{m} r$$

XIV

Notion de magnétostatique

Phénomènes magnétiques :

Les aimants.

~~Ce sont~~ Les corps en acier ou certains alliages soumis à un traitement convenable deviennent cappable d'altirer des objets en fer ou en acier. Cette propriété est permanente. De tels objets sont appelés aimants permanents.

Caractéristiques : Les propriétés magnétiques manifestées ont pour siège des régions localisées de l'aimant appelés pôles. Il y a 2 espèces de pôles : pôle Nord (N), pôle Sud (S), ainsi définis par l'orientation que prend spontanément l'aimant lorsqu'il est mobile dans un plan horizontal (aiguille aimantée).

Intéractions : 2 pôles de même nom excercent l'un sur l'autre des forces répulsives. 2 pôles de noms contraire excercent l'un sur l'autre des forces attractives.

Courants électriques.

Rappel : Un courant agit sur ~~à~~ un aimant. Inversement, un aimant agit sur un courant en excerçant une force magnétique. De même, 2 courants électriques excercent mutuellement une action magnétique.

Ainsi les actions magnétiques se décrivent par des forces et des couples de force. Leur étude constitue la magnétostatique.

Système magnétiques principaux.

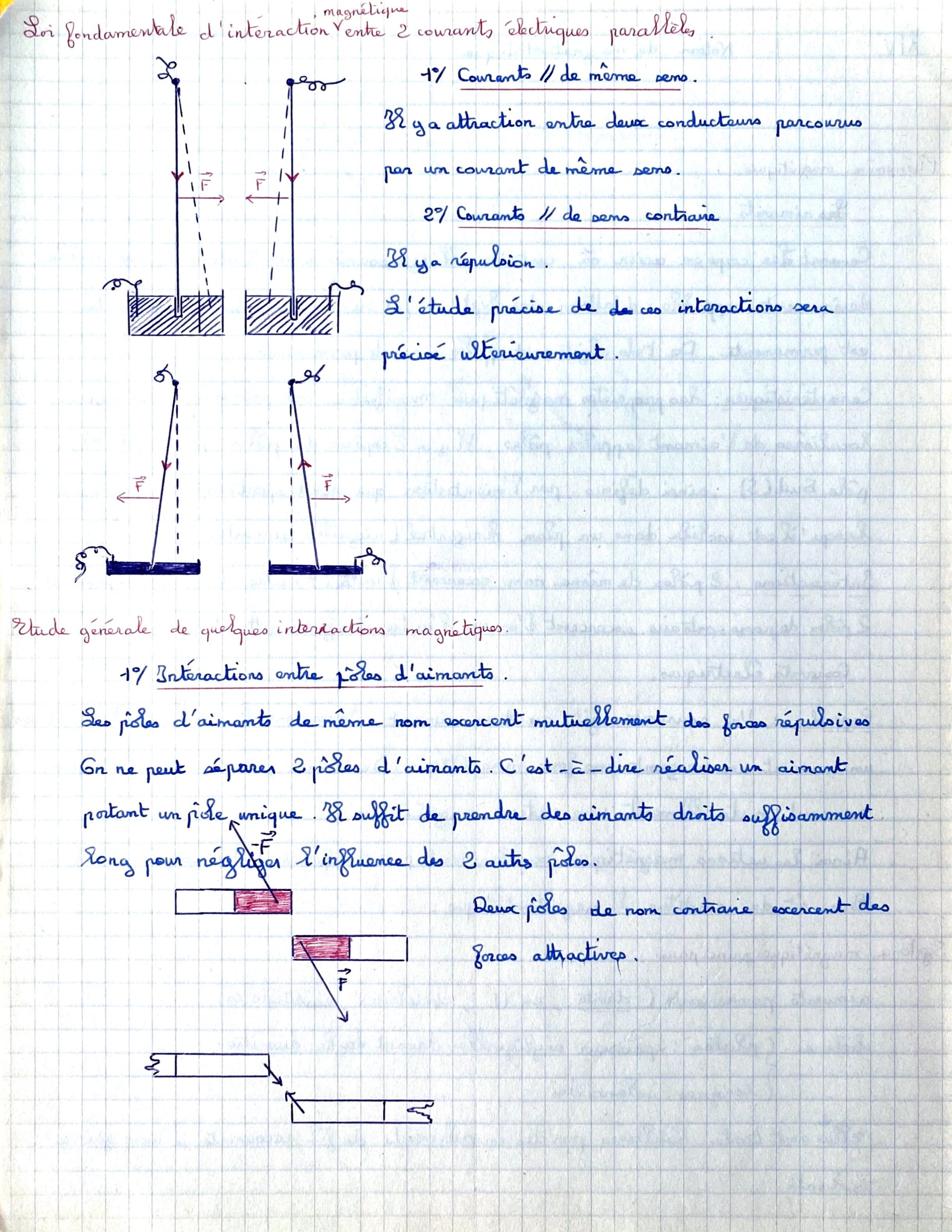
aimants permanents (droits, en U, circulaires, multipôles)

bobines { plates : épaisseur négligeable devant ~~de~~ le diamètre.
{ longues : solénoïdes.

↓

Elles sont toutes réalisées par des enroulements de fil recouverts d'une gaine isolante.

Loi fondamentale d'intéraction magnétique entre 2 courants électriques parallèles



1°/ Courants // de même sens.

Il y a attraction entre deux conducteurs parcourus par un courant de même sens.

2°/ Courants // de sens contraire

Il y a répulsion.

L'étude précise de ~~de~~ ces interactions sera précisé ulterieurement.

Etude générale de quelques interactions magnétiques.

1°/ Intéractions entre pôles d'aimants.

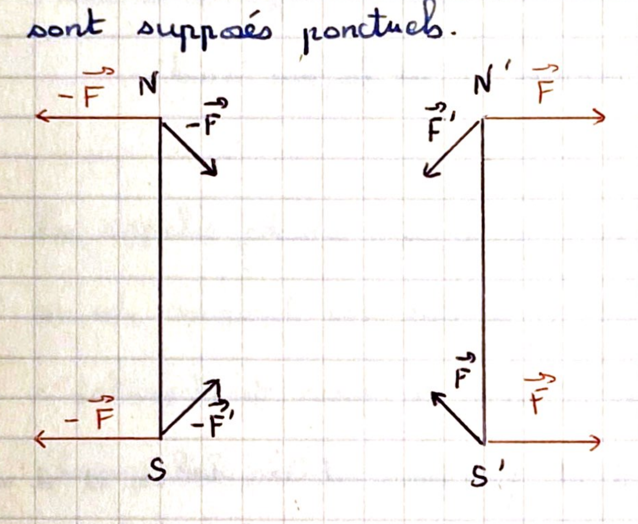
Les pôles d'aimants de même nom excercent mutuellement des forces répulsives

On ne peut séparer 2 pôles d'aimants. C'est-à-dire réaliser un aimant portant un pôle unique. Il suffit de prendre des aimants droits suffisamment long pour négliger l'influence des 2 autres pôles.

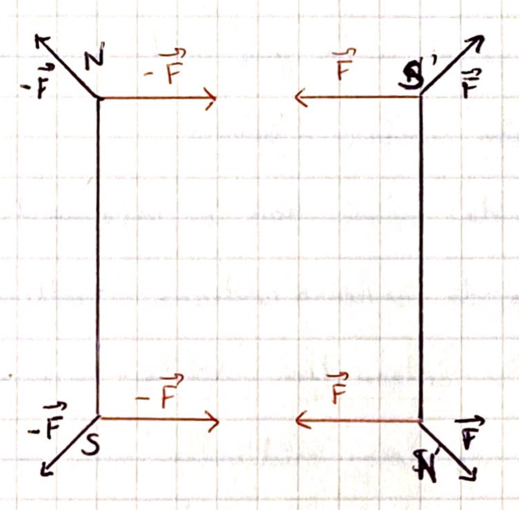
Deux pôles de nom contraire excercent des forces attractives.

Exercice :

Interaction entre 2 aimants droits parallèles et de même longueur dont les pôles sont supposés ponctuels.



1er cas
(au total : répulsion des 2 barreaux.)



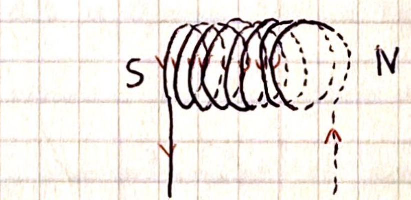
2e cas
(au total : attraction des 2 barres).

2°/ Intéraction entre bobines.

Face Nord et face Sud. Une bobine parcourue par un courant et mobile dans un plan horizontal s'oriente de façon à ce que son axe ait la direction Nord-Sud, parallèle à celle d'un aimant droit placé au même lieu. Il n'y a qu'une position d'équilibre stable. On appelle face N de la bobine la face qui est orientée vers le nord magnétique et face S celle qui est orientée vers le sud.

L'inversion du sens du courant dans la bobine entraîne une rotation de π rd, donc provoque une permutation des noms des 2 faces.

Le nom N est lié au sens du courant.



↓I S N

Repérage des faces.

Soit un observateur situé à l'une des faces de la bobine et regardant à l'intérieur de celle-ci. S'il voit le courant circuler en sens contraire des aiguilles d'une montre, il est à la face nord. Dans le cas contraire, c'est la face sud.

Intéraction bobine - bobine.

Des faces de même nom se repoussent.

Des faces de noms contraires s'attirent.

3°/ Intéraction bobine - aimants droits.

Il y a répulsion mutuelle entre face nord et pôle nord d'une bobine et d'un aimant. Il y a attraction dans le cas contraire.

Dans toutes ces interactions magnétiques, qu'elles soient attractives ou répulsives, conformément au principe de l'action et de la réaction, ces forces sont toujours opposées.

~~Notion de cham~~

XV

Notion de champ magnétique

Spectres magnétiques, vecteurs d'induction magnétique

Champ magnétique

On appelle champ magnétique toute région de l'espace dans laquelle un aimant ou un courant est soumis à une force magnétique. Les actions magnétiques s'interprètent ainsi : un aimant ou un courant ~~est ou~~ crée autour de lui un champ magnétique, c'est-à-dire fait acquérir à l'espace qui l'environne certaines propriétés par lesquelles il agit à distance sur un autre aimant ou un autre courant.

Les spectres magnétiques. (§1)

Voir livre : Des grains de limaille de fer de forme allongée subissent dans le champ magnétique une aimantation d'influence qui les transforme en petits aimants qui tendent à se placer de façon à ce que leur pôle de nom contraire se touche et prennent la direction du champ magnétique au lieu considéré. Ainsi ils tendent à s'aligner ~~le long~~ de façon à former une ligne continue appelée ligne de champ.

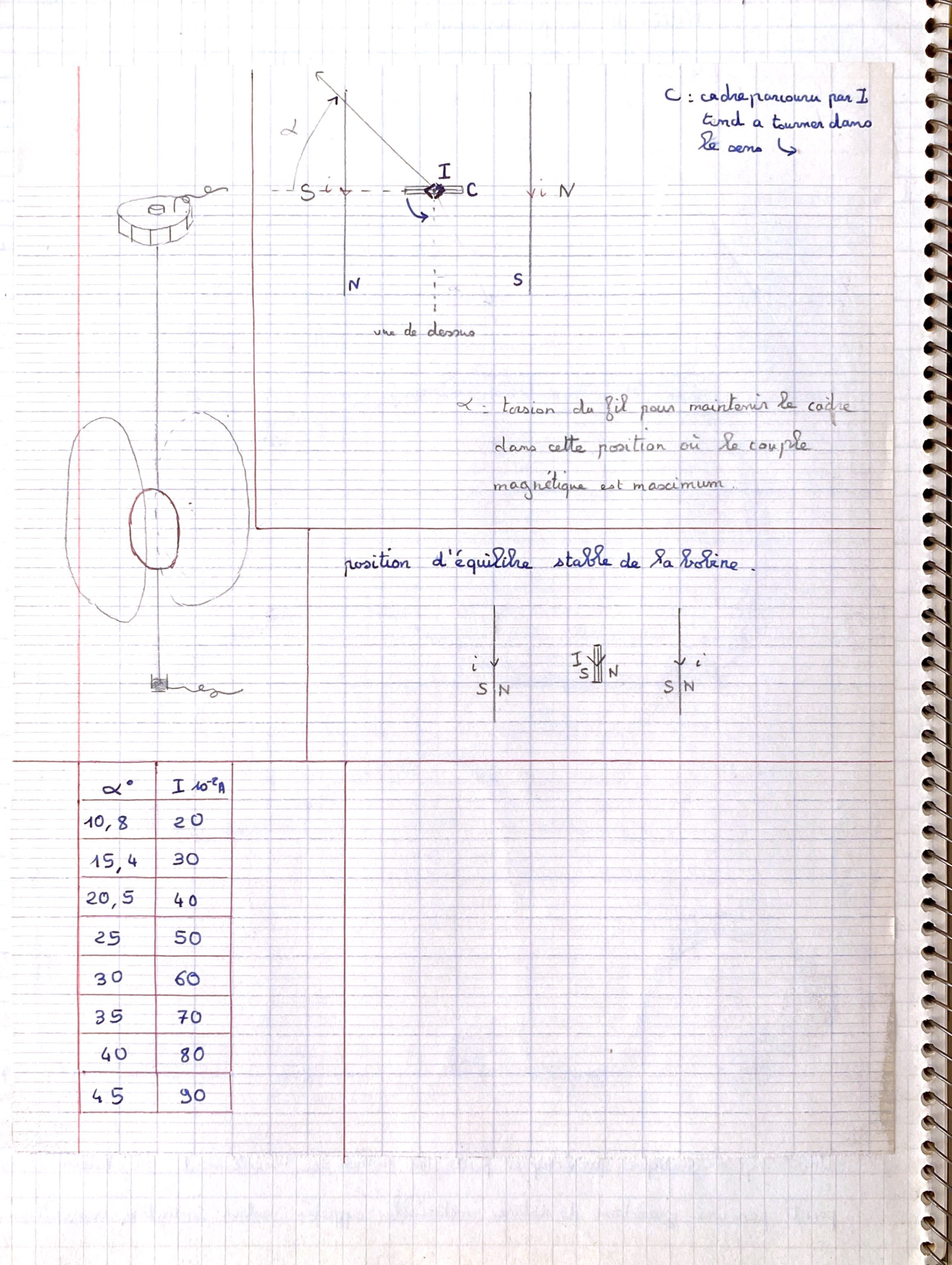
<u>Remarque</u> : On ne peut avoir des alignements parfaits car il y a intéraction entre les pôles d'aimant selon des lignes contigues.

(§.2) : cas particulier du champ uniforme :

Le champ magnétique est dit uniforme lorsque les lignes d'induction sont parallèles

ex : entre les pôles d'un aimant en U, et dans un solénoïde (toute la région intérieure exceptée au voisinage des extrémités et des spires, est occupée par un champ magnétique uniforme).

Un champ magnétique quelconque peut être caractérisé localement en chacun de ses points par une grandeur de nature vectorielle appelée vecteur induction magnétique $\vec{B}$



C : cadre parcouru par I tend a tourner dans le sens ↳

α : torsion du fil pour maintenir le cadre dans cette position où le couple magnétique est maximum.

position d'équilibre stable de la bobine.

α°	I 10^{-2}A
10,8	20
15,4	30
20,5	40
25	50
30	60
35	70
40	80
45	90

$T' = C\alpha$ = couple mécanique de torsion du fil.

Lorsque le cadre est en équilibre, le couple de torsion a même valeur de que le couple magnétique s'excerçant sur le cadre.

~~Ce qui nous permet d'écrire)~~, Sachant que le couple de torsion est proportionnel à l'angle α de torsion, ($T' = C\alpha$).

Les mesures faites par variation de α en fonction de I nous montre que les rapports $\frac{I}{\alpha}$ sont constants. Donc, le couple magnétique T' est proportionnel à l'intensité du courant I qui parcourt le cadre.

$T' = kI$.

Remplaçons le cadre étudié par d'autres cadres différents parcourus par la même intensité I et plaçés successivement dans le même champs magnétique.

* On constate que pour 2 cadres comprenant le même nombre de spires, et qui ont la même forme, mais dont l'aire de l'un est le double de l'aire de l'autre. On constatera que la torsion α doit être le double. On déduit que le couple T' est proportionnel à l'aire S du cadre.

* On constate que le couple magnétique à la même valeur pour 2 cadres comprenant le même nombre de spires, ayant la même aire S mais de forme différente. Donc le couple magnétique ne dépend pas de la forme du cadre.

* On constate que pour 2 cadres de même aire S mais dont l'un a un nombre de spires double de l'autre, le couple magnétique a une valeur double.

Conclusion: le couple magnétique est proportionnel à l'aire S du cadre et proportionnel au nombre des spires N de ceux-ci.

$T' = k' N S$.

$T' = K I N S$.

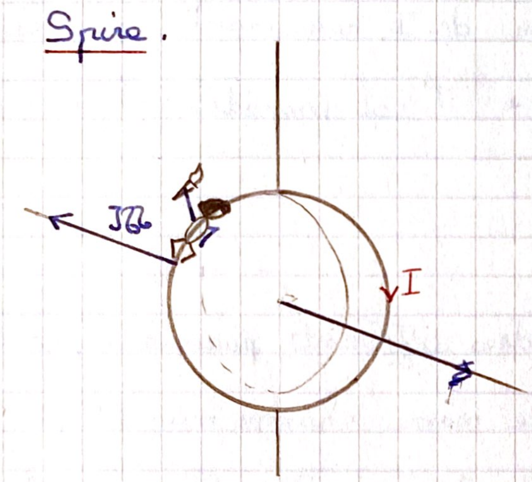
Finalement, les 3 facteurs I, N, S sont caractéristiques du cadre et permettent de caractériser le moment magnétique $\mathcal{M}$.

$\mathcal{M}_0$ n'a rien à voir avec un couple mécanique. Mais elle intervient dans l'expression du couple mécanique.

$$\mathcal{M} = I\,S\,N$$

Moment magnétique

Spire.



Le moment magnétique $\mathcal{M}$ est une grandeur vectorielle puisque la spire placée dans un ch. magn. et libre s'orientera d'une façon bien déterminée.

Par définition, le moment magnétique de cette spire sera un vecteur porté par l'axe de la spire dont le sens est lié au sens du courant et de telle façon que son sens soit de la face S vers la face N.

$$\mathcal{M} = I\,S$$

· Cas de N spires (bobine plate ou solénoïde).

$$\mathcal{M} = I\,S\,N$$

Unité de moment magnétique.

$A.m^2$ = unité S.I.

Vecteur induction magnétique.

Définition d'un champ magnétique uniforme dans lequel est placé une bobine de moment magnétique $\vec{\mathcal{M}}$, celle-ci étant alors placée dans une position où le couple magnétique a une valeur maximale.

- L'axe de la bobine ⊥ aux lignes de champs.

Le vecteur induction $\vec{B}$ a une direction parallèle aux lignes de champs donc orthogonale à $\mathcal{M}$.

Le sens du vecteur $\vec{B}$ est tel que, la bobine étant libre de se mouvoir, la rotation spontanée qu'il subit ammène le vecteur $\vec{\mathcal{M}}$ à se superposer au vecteur $\vec{B}$. A l'équilibre, les vecteurs $\vec{\mathcal{M}}$ et $\vec{B}$ ont alors même sens.

Le couple Γ exercé sur le cadre, dans la position ou le ~~c~~ $\vec{\mathcal{M}}$ et $\vec{B}$ sont perpendiculaires.

Par définition, le module du vecteur induction magnétique est égal au rapport du couple magnétique Γ, au moment magnétique $\mathcal{M}$ de la bobine.

$\Gamma = B\,\mathcal{M}$ $\qquad$ $\Gamma = \underbrace{ISN}_{\mathcal{M}}\,B$ (cas particulier).

B n'est autre du coefficient K précédent qui ne dépendait que du champ magnétique.

Unité : le Tesla

$B = 1\,T$ si $\mathcal{M} = 1\,A.m^2$

$\Gamma = 1\,m.N$

$\alpha°$	β angle de torsion du fil
90	27
60	24
30	16
0	0

Variation de Γ en fonction de α.

On constate que les rapports $\dfrac{\beta}{\sin\alpha} \simeq C^{te}$

don $\dfrac{\Gamma}{\sin\alpha} = C^{te}$. Donc Γ est proportionnel au sinus de l'angle $(\vec{B}, \vec{\mathcal{M}})$.

La relation générale s'écrira :

$(M = \Gamma)$ $\qquad$ $M = \mathcal{M}\,B\sin\alpha$

XVI

Champs magnétiques créés par les courants.

I Courant rectiligne de longueur "infinie".

⊙ le courant vient vers vous

⊕ " fuit.

I

$\vec{B}$

d

O

Ligne de champ

I ⊙

$\vec{B}$

Les lignes de champ sont circulaires centrées sur le conducteur, dont le plan est perpendiculaire au conducteur.

Le conducteur rectiligne est donc un axe de symétrie pour le champ qu'il crée autour de lui.

En un point quelconque de ce champ, le vecteur $\vec{B}$ est tangent à la ligne de champ qui passe par ce point et il est orthogonal au conducteur. Son sens est donné par la règle d'Ampère.

L'observateur d'Ampère est placé aligné avec le conducteur, le courant allant des pieds à la tête. Il regarde le point considéré. Le vecteur $\vec{B}$ en ce point est alors dirigé vers sa gauche.

Si l'on inverse le sens du courant, les vecteurs $\vec{B}$ changent de sens. Leur module reste le même.

$$B = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I}{d}$$

B en T
I en A
d en m

Calculons $\vec{B}$ à 2 cm d'un conducteur parcouru par un courant de 10 A.

$$B = 2 \cdot 10^{-7} \frac{10}{2 \cdot 10^{-2}} = 10^{-4} \text{ T}$$

Ce champ demeure relativement faible.

Courant circulaire (spire)

(au centre O)

Le vecteur induction en O est porté par l'axe de la spire. Le sens de $\vec{B}$ est aussi donné par la règle d'Ampère, l'observateur d'Ampère alligné sur le conducteur et regardant O. Il voit $\vec{B}$ dirigé vers sa gauche. Le sens de $\vec{B}$ est SN.

$$B = 2\pi \cdot 10^{-7} \frac{I}{R}$$

Exercice : Si $I = 10$ A, $R = 2 \cdot 10^{-2}$ m.

$$B = 2\pi \cdot 10^{-7} \frac{10}{2 \cdot 10^{-2}} = \pi \, 10^{-4} \text{ T}$$

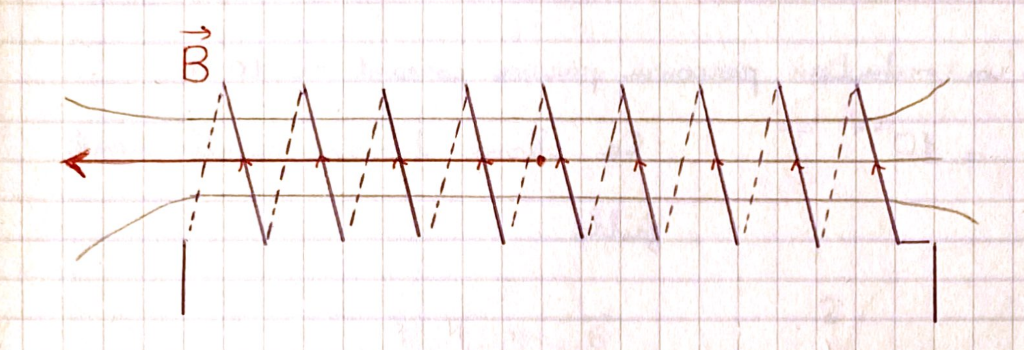
Bobine plate de N spires.

$$B = 2\pi \cdot 10^{-7} \frac{NI}{R}$$

N : nombre de spires.

Solénoïde.

C'est une bobine constituée par un enroulement cylindrique du fil et dont la longueur est relativement grande devant le diamètre.



Le champ est pratiquement uniforme à l'intérieur du solénoïde, sauf au voisinage des bords ou des extrémités. Les vecteurs $\vec{B}$ sont équipollents, parallèles à l'axe. Leur sens est donné par la règle d'Ampère.

n = nombre de spire /m.

$$B = 4\pi\, 10^{-7}\ n\ I$$

$$n = \frac{\text{nombre N de spires}}{\text{longueur du sol.}}$$

Exercice : $I = 10$ A.

Le solénoïde étant formé de 4 enroulements ~~superposés~~ successifs d'un fil conducteur de 1 mm de diamètre, les spires étant jointives.

$$n = \frac{4}{10^{-3}} ~~10^3~~ = 4.10^{+3} \text{ spires / mètre.}$$

$$B = 4\pi\ 10^{-7} \cdot 4.10^{3} \cdot 10$$

$$B = 5.10^{-2}\ T$$

Conclusion. Loi générale.

La direction du vecteur induction en un point dépend essentiellement des caractéristiques géométriques du circuit et de la position relative de ce point par rapport au circuit.

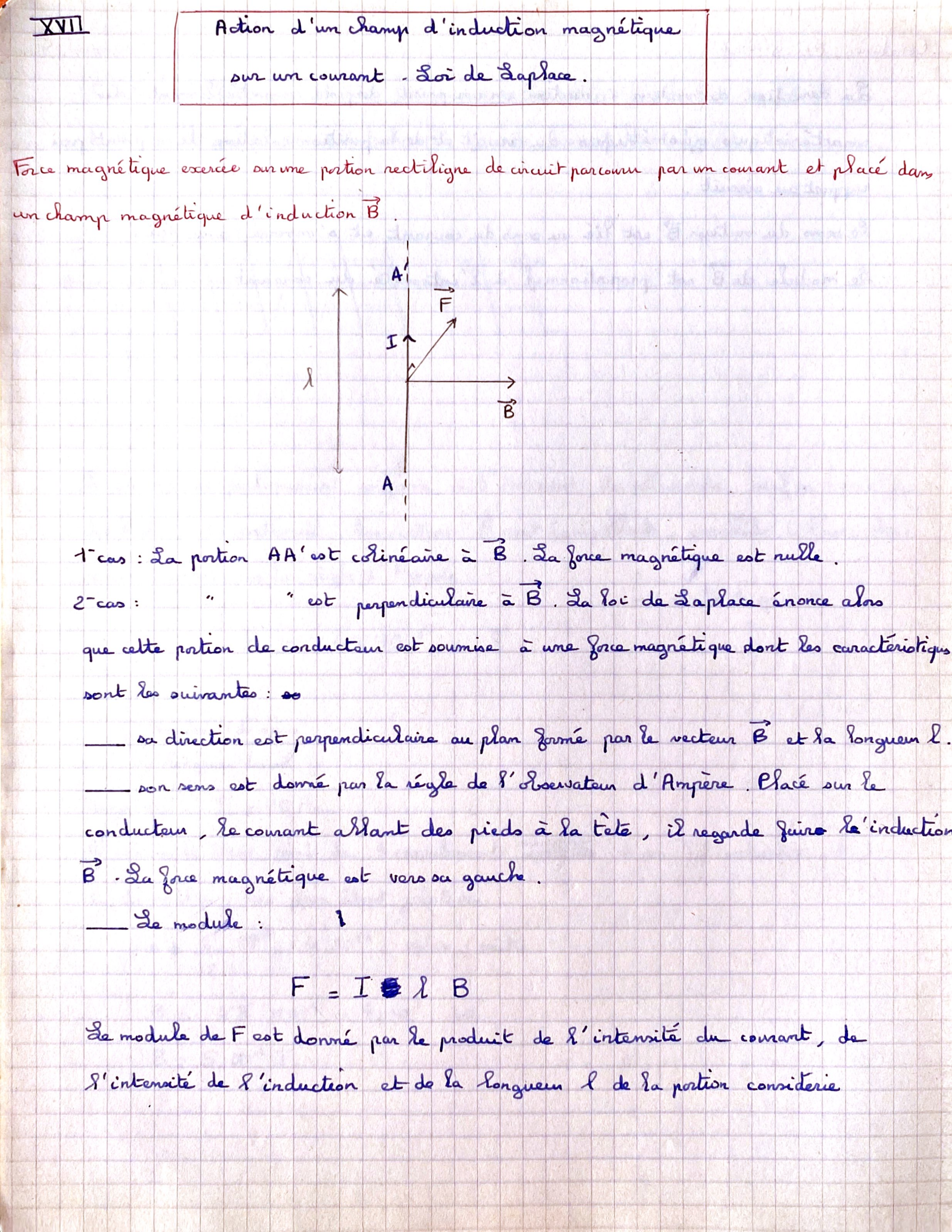
Le sens du vecteur $\vec{B}$ est lié au sens du courant et s'inverse avec lui.

Le module de $\vec{B}$ est proportionnel à l'intensité du courant.

XVII

Action d'un champ d'induction magnétique sur un courant - Loi de Laplace.

Force magnétique exercée sur une portion rectiligne de circuit parcouru par un courant et placé dans un champ magnétique d'induction $\vec{B}$.



1er cas : La portion AA' est colinéaire à $\vec{B}$. La force magnétique est nulle.

2e cas : " " est perpendiculaire à $\vec{B}$. La loi de Laplace énonce alors que cette portion de conducteur est soumise à une force magnétique dont les caractéristiques sont les suivantes :

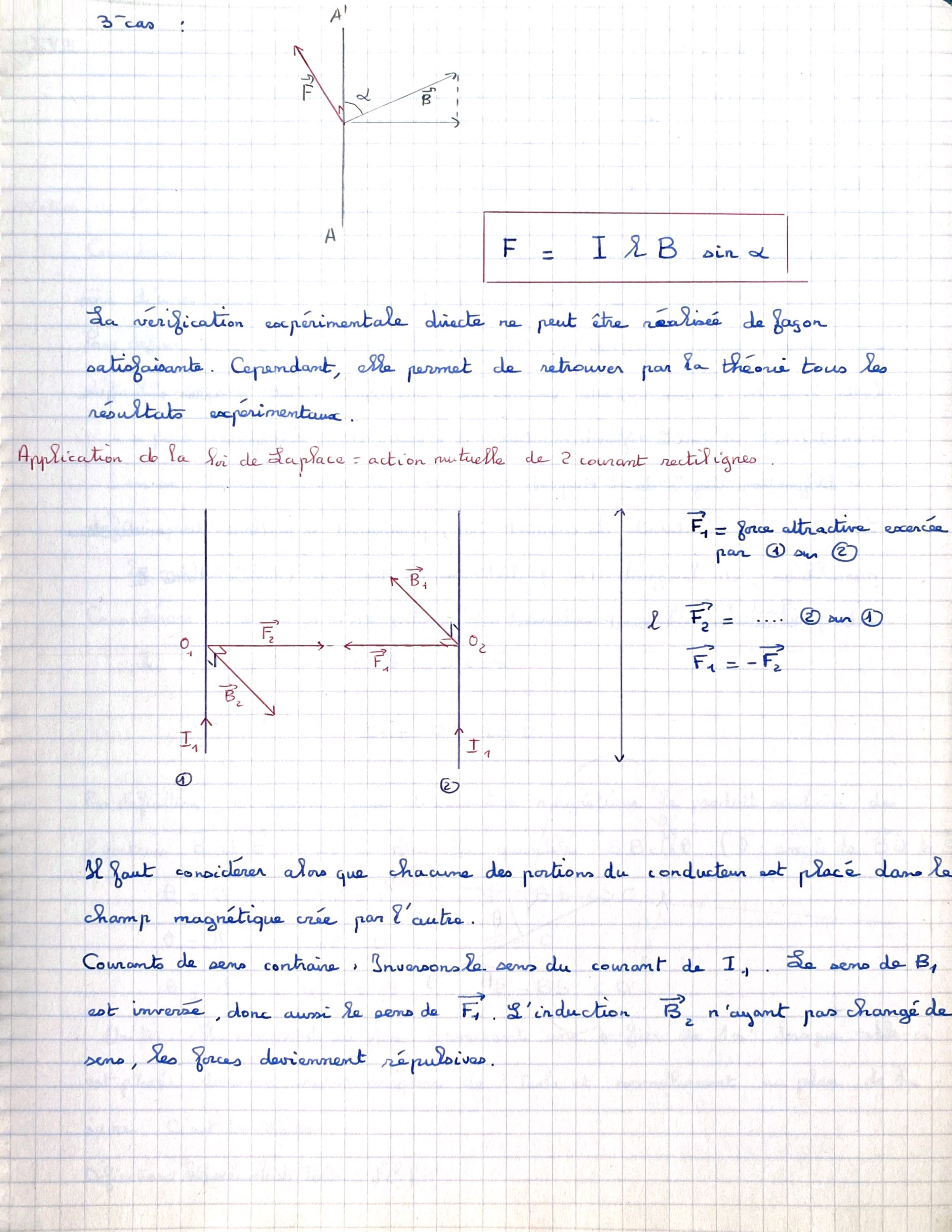
— sa direction est perpendiculaire au plan formé par le vecteur $\vec{B}$ et la longueur l.

— son sens est donné par la règle de l'observateur d'Ampère. Placé sur le conducteur, le courant allant des pieds à la tête, il regarde fuir l'induction $\vec{B}$. La force magnétique est vers sa gauche.

— Le module :

$$F = I\, l\, B$$

Le module de F est donné par le produit de l'intensité du courant, de l'intensité de l'induction et de la longueur l de la portion considérée



3ᵉ cas :

$$F = I \, l \, B \sin \alpha$$

La vérification expérimentale directe ne peut être réalisée de façon satisfaisante. Cependant, elle permet de retrouver par la théorie tous les résultats expérimentaux.

Application de la loi de Laplace : action mutuelle de 2 courant rectilignes.

$\vec{F_1}$ = force attractive exercée par ① sur ②

$\vec{F_2}$ = ... ② sur ①

$\vec{F_1} = -\vec{F_2}$

Il faut considérer alors que chacune des portions du conducteur est placé dans le champ magnétique crée par l'autre.

Courants de sens contraire, Inversons le sens du courant de I_1. Le sens de B_1 est inversé, donc aussi le sens de $\vec{F_1}$. L'induction $\vec{B_2}$ n'ayant pas changé de sens, les forces deviennent répulsives.

$$\begin{cases} F_1 = I_2 \ell B_1 \\ B_1 = 2.10^{-7} \dfrac{I_1}{d} \end{cases}$$

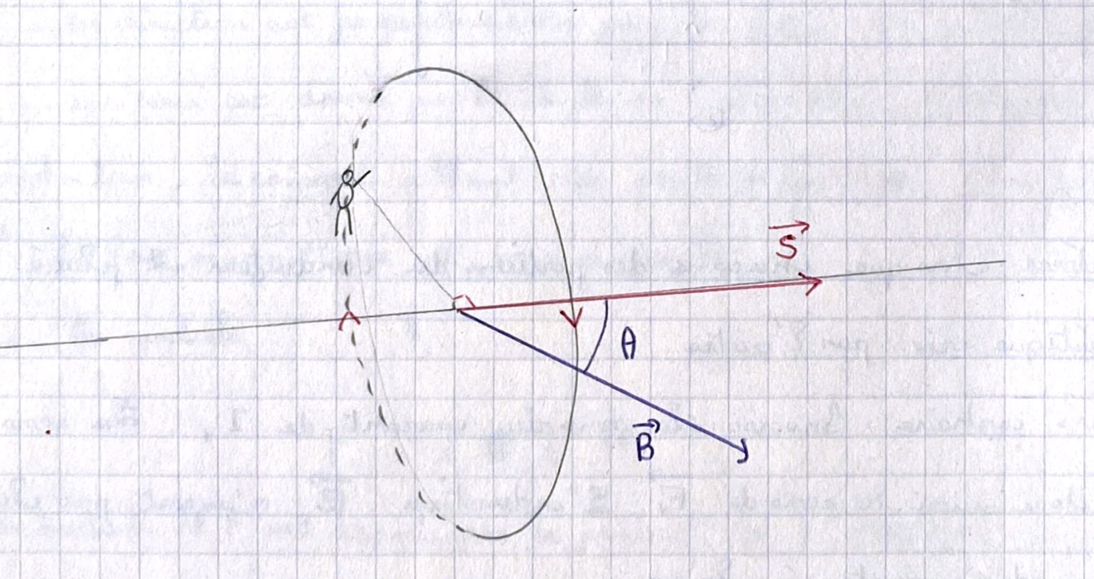
$$F_1 = 2.10^{-7} I_1 I_2 \frac{\ell}{d}$$

$$F = 2.10^{-7} I_1 I_2 \frac{\ell}{d}$$

Cette formule a une grande importance théorique. C'est d'après elle que l'on définit l'unité fondamentale d'électricité : l'Ampère.

Définition légale de l'Ampère.

L'ampère est l'intensité de courant qui, parcourant 2 portions de conducteur parallèles, de longueur 1m, distantes de 1m, et placés dans le vide, ~~ceux-ci subissent subissent~~ fait naître une force de 2.10^{-7} N.



$|\vec{S}|$ = aire de la surface.

XVIII

Notion de flux d'induction
Travail des f. électromagnétiques.

Notion de flux d'induction magnétique

Considérons une surface plane délimitée par un contour fermé , par exemple, l'aère d'une spire.

Pour définir à la foi l'aire de la surface et son orientation dans l'espace, on définit alors un vecteur surface $\vec{S}$ de la façon suivante :

- a pour support la normale au centre de la surface
- en se donnant un sens de parcourt arbitraire du contour, le sens de $\vec{S}$ est défini par la règle d'Ampère.
- le module de $\vec{S}$ représente l'aire de la surface.

Considérons alors ce "contour" placé dans un champ d'induction uniforme.

phi $\Phi = \vec{B} . \vec{S} = B. \ SB \cos\theta$

$$\Phi = SB \cos\theta$$

Par définition , on appelle flux d'induction magnétique le produit scalaire des 2 vecteurs $\vec{B}$ et $\vec{S}$, c'est à dire la quantité $SB\cos\theta$ (θ : angle de $\vec{B}$ et de $\vec{S}$

$\theta = 0$, $\cos\theta = 1$ $\Phi = BS > 0$.

$\theta = \frac{\pi}{2}$, $\cos\theta = 0$ $\Phi = 0$.

$\theta = \pi$ $\cos\pi = -1$ $\Phi = BS < 0$.

Unité : elle correspond au flux traversant une surface de $1 m^2$ lorsque celle-ci est placée dans un champ uniforme de 1 Tesla et normalement au plan de la spire. C'est le Weber.

Définition légale du Tesla : Wb / m^2.

Ex : application de la loi de Laplace à la mesure de $\vec{B}$: balance de Cotton.

$\vec{F'}$ et $\vec{F''}$ ont un moment nul.

à l'équilibre : $P = F$

F'

F''

$\vec{F}$

O

$I = 5$ A

$m = 0,2$ g ou 2.10^{-4} kg. $P = 2.10.10^{-4} = 2.10^{-3}$

$\ell = 2$ cm ou 2.10^{-2} m

$F = I\ell B$ $\qquad B = \dfrac{mg}{I\ell}$

$B = \dfrac{2.10^{-3}}{5.2.10^{-2}} = 0,02$ T $= 2.10^{-2}$ T

Travail électromagnétique (voir exercices).

Flux balayé.

$W = I(\Delta\Phi)$

Cette expression a le gros avantage d'être très simple et de permettre l'évaluation du travail électromagnétique si l'on connait l'intensité du courant et la variation du flux seulement. Il suffit de pouvoir évaluer cette variation de flux et le travail produit est indépendant de la façon dont il a été effectué (indépendant de l'évolution des différentes forces magnétiques et de leur déplacement).

Exemple.

Soit un circuit carré formé
par un fil déformable parcouru
par un courant $I = 2$ A et de
côté $\ell = 0,2$ m. Il est placé

dans un champ d'induction uniforme d $B = 10^{-2}\,T$ normale au plan du cadre.
Sachant que le circuit se déforme de façon à devenir un cercle, calculer le travail produit par les forces électromagnétiques.

$\Phi_1 = 10^{-2} . 0,04$ Application numérique.

diamètre : 0,8 m.

$$2\pi R = d$$

$$R = \frac{0,8}{2\pi} = \frac{0,4}{\pi}$$

$W = I . \Delta\Phi$

$\Delta\Phi = B\ell^2\left(\frac{4}{\pi} - 1\right)$

surface S_2 : $\frac{\pi(0,4)^2}{\pi^2} = \frac{0,16}{\pi}$

$$\Phi_2 = 10^{-2} . \frac{0,16}{\pi} = 0,05.10^{-2}.$$

et $W = I\,(0,05.10^{-2} - 0,04.10^{-2})$

$W = 2\,(0,01.10^{-2})$

$$\boxed{W = 2.10^{-4}\ J}$$

Loi de Maxwell (flux maximal)

Lorsqu'un circuit parcouru par un courant est placé dans un champs d'induction magnétique, sa position d'équilibre stable est celle pour laquelle le flux d'induction qui le traverse est maximal. Dans une telle position, tout travail moteur du système est impossible.

Pour qu'un tel circuit puisse effectuer un travail moteur, il faut qu'il soit dans une position telle qu'un accroissement de flux soit possible. Le travail moteur sera alors exprimé par le produit $W = I . \Delta\Phi$ avec $\Delta\Phi > 0$ (accroissement)

Un travail résistant correspondant à un travail contre les forces électromagnétiques aura même expression mais $\Delta\Phi < 0$ (diminution de flux).

Ainsi, on est conduit à attribuer à Φ une valeur algébrique.

Le flux d'induction sera positif s'il entre par la face sud du circuit.

Il est négatif s'il entre par la face nord

Calculer le travail des forces magnétiques produites par le déplacement d'un cadre de surface $S = 1\,dm^2$ ou $10^{-2} m^2$, parcouru par un courant $I = 10\,A$. La position initiale étant $\vec{M}$ sens contraire à $\vec{B}$. Position finale : $\vec{M}$ m̂ di. $\vec{B}$

$\vec{B} = 10^{-2}\,T$ $\qquad W = I(\Phi_2 - \Phi_1) = I(BS - (-BS))$

$$W = I(2\Phi) = 2IBS = 2 . 10 . 10^{-2} . 10^{-2}$$

$$W = 2 . 10^{-3} \text{ Joules.}$$

Pour que le travail soit utilisable, il faut produire de grandes variations de Φ en jouant surtout sur la surface S et sur les bobinages.

---

fig. 1.

XIX — GALVANOMETRES A CADRE

"La science avance avec la précision des mesures" (   ).

$$C\alpha = \mathcal{M} B \sin \beta \qquad \alpha + \beta = \frac{\pi}{2}$$

En fait, le champ d'induction réalisé est tel que le moment magnétique du cadre est toujours perpendiculaire au vecteur induction situé dans le plan du cadre. Donc, le cadre est soumis à un couple de valeur constante indépendante de l'angle de rotation : $\Gamma = \mathcal{M} B = B n S i$

Le cadre prend une position d'équilibre telle que $C\alpha = n S i B$

$$\boxed{i = \frac{C\alpha}{nBS}}$$

XX — L'AIMANTATION

Fait expérimental

Un morceau de fer ou d'acier s'aimante lorsqu'il est placé dans un champ magnétique. Si l'on supprime le champ d'induction, l'aimantation du morceau de fer disparaît totalement. L'aimantation du morceau d'acier diminue mais il reste une aimantation permanente. On l'appelle l'aimantation rémanente. Le fer et l'acier ne sont pas les seuls à s'aimanter (Ni, Ti, Co, Al). alliages.

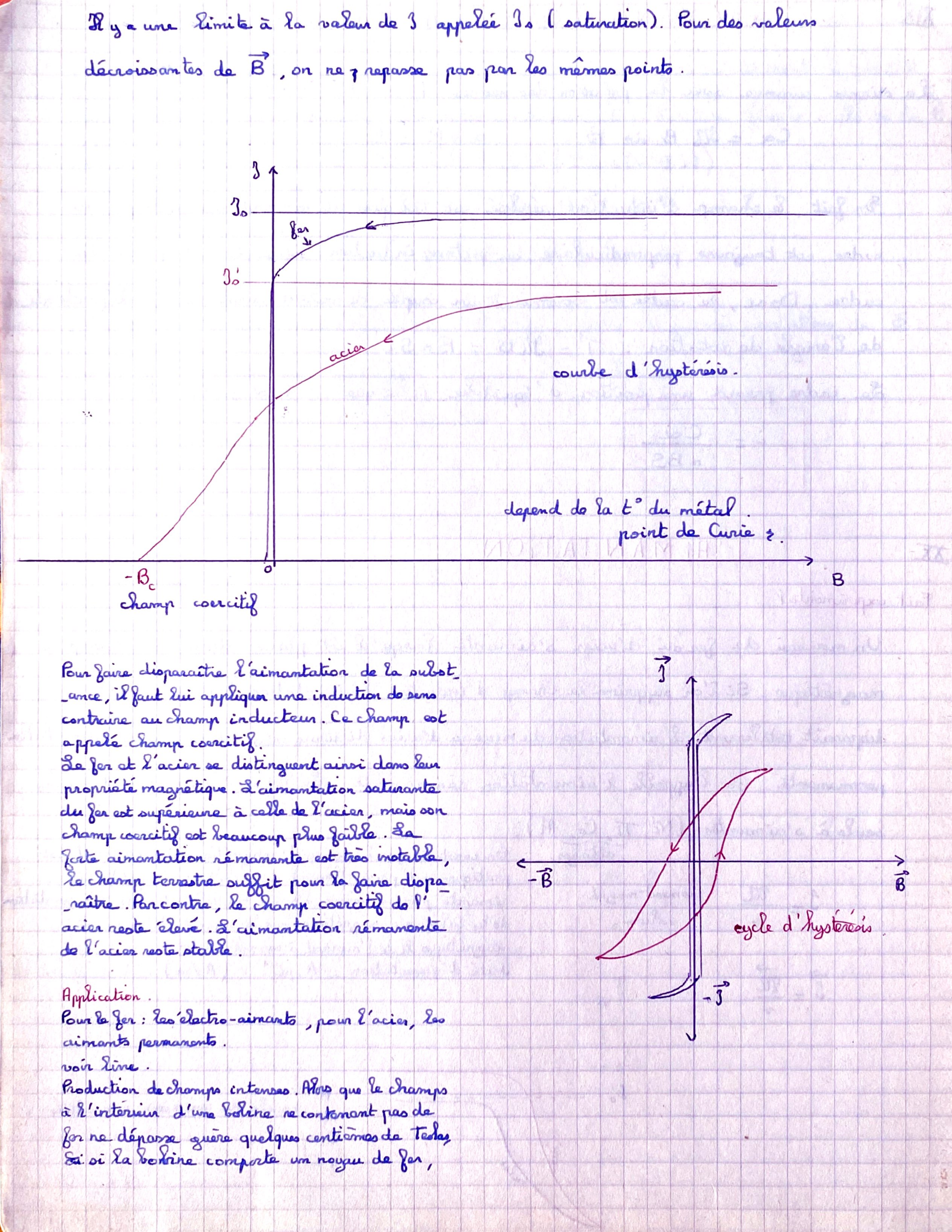
On constate que le moment magnétique d'un aimant est pratiquement proportionnel à son volume lorsqu'il a été aimanté par un même champ. On définit alors l'aimantation de la substance magnétique par le rapport du moment magnétique $\mathcal{M}$ de l'aimant à son volume v.

Unité d'aimantation : $A.m^{-1}$ (A/m)

$$J = \frac{\mathcal{M}}{v} \quad \frac{\text{moment magné.}}{\text{volum.}}$$

$$\vec{J} = \frac{\vec{\mathcal{M}}}{v}$$

courbe de première aimantation.



Il y a une limite à la valeur de J appelée J_s (saturation). Pour des valeurs décroissantes de $\vec{B}$, on ne repasse pas par les mêmes points.

Pour faire disparaître l'aimantation de la substance, il faut lui appliquer une induction de sens contraire au champ inducteur. Ce champ est appelé champ coercitif.
Le fer et l'acier se distinguent ainsi dans leur propriété magnétique. L'aimantation saturante du fer est supérieure à celle de l'acier, mais son champ coercitif est beaucoup plus faible. La forte aimantation rémanente est très instable, le champ terrestre suffit pour la faire disparaître. Par contre, le champ coercitif de l'acier reste élevé. L'aimantation rémanente de l'acier reste stable.

Application.
Pour le fer : les électro-aimants, pour l'acier, les aimants permanents.
voir livre.
Production de champs intenses. Alors que le champs à l'intérieur d'une bobine ne contenant pas de fer ne dépasse guère quelques centièmes de Teslas, si la bobine comporte un noyau de fer,

On peut réaliser un électroaimant dans l'entrefer duquel l'intensité d'induction est plusieurs centaines de fois plus grandes qu'en l'absence du fer. On atteind quelques dixièmes de Teslas. On peut obtenir des champs allant jusqu'à 5T.

$\mathcal{B}_1$: Champ de i. B_0 = champ inducteur

N

$\vec{b}_i$

sens du courant induit

i $\vec{B}_0$

L'INDUCTION ELECTROMAGNETIQUE

A

Loi de Lenz

"Le sens du courant induit est tel que par son propre flux qu'il crée à travers le circuit, il tend à s'opposer à la variation du flux inducteur. Le courant induit ne dure que le temps de la variation de flux.

Force électromotrice d'induction

Toute variation de flux d'induction magnétique à travers un circuit fait naître dans ce circuit une force électromotrice d'induction e (f.é.m induite) qui est la cause du courant induit.

Expression de e

$e = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$. On a observé que le courant i était d'autant plus intense que : - pour une même durée, la variation $\Delta\Phi$ de flux est plus grande. Pour une même variation de flux $\Delta\Phi$, l'instant t est plus court.

En supposant une variation uniforme de $\Delta\Phi$ et considérant que e et i varient dans le même sens, on est conduit à poser $|e| = \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t}$

$$e = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (1)$$

Il faut tenir compte du sens de i suivant la variation de $\Delta\Phi$. La variation de $\Delta\Phi$ est algébrique. Puisque la f.e.m. induite e est telle que le flux du courant induit tend à s'opposer au flux inducteur $\Delta\Phi$, on doit écrire la formule (1).

Dans le cas d'une variation non uniforme du flux, la f.é.m. instantanée e à un instant t quelconque est donnée par la dérivée du flux d'induction ou la dérivée de t.

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (2)$$

Cette expression sert à la définition du Weber.

Application : Courants de Foucault.

B. L'AUTOINDUCTION

(self-induction) (f.1)

En l'absence de solénoïde, le générateur et la lampe sont choisis tels que la tension U_{AB} soit insuffisante pour éclairer la lampe. Dans le montage 1 (ci dessus)

Fermeture de l'interrupteur : on n'observe rien.

Ouverture de l'interrupteur K : on observe une vive lueur très brève de la lampe. Interprétation :

Avant l'ouverture du circuit, le solénoïde est parcouru par un courant i_s. Ce courant crée un champ magnétique dans le solénoïde qui est relativement intense à cause du milieu magnétique (fer doux). Le solénoïde est alors traversé par un flux d'induction créé par son propre champ. C'est son flux propre φ.

A l'ouverture du circuit, i_s décroît brutalement à 0 : $i_s \searrow 0 \vdash \varphi \searrow 0$, Δt très petit. Il s'ensuit la naissance d'une f.e.m. d'auto induction :

$e = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ qui tend à s'opposer à la variation du flux propre. $\Delta\varphi$ grand, Δt petit donc $e > E$. $\vdash$ courant i d'intensité relativement importante $i > I i_R$ initial.

On remarque que le courant d'auto-induction i a nécessairement le même sens que ~~inverse~~ du courant initial.

Pour les mêmes raisons, le courant ne s'établit pas instantanément dans le solénoïde pour atteindre sa valeur permanente.

Coefficient d'auto induction

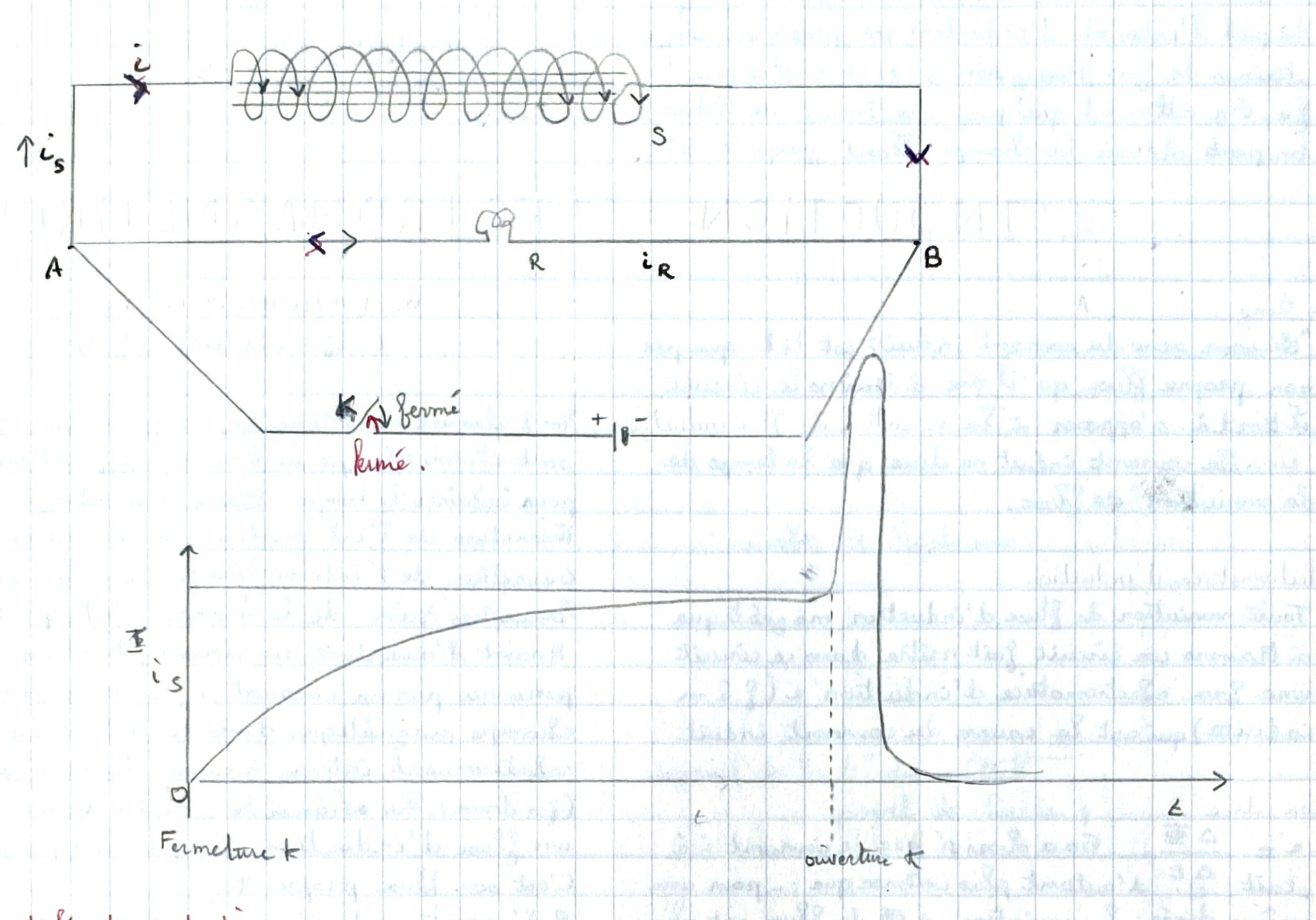
Le flux propre traversant une bobine est pratiquement proportionnel à l'intensité de courant qui la traverse.

$$\varphi = L\,i$$

L est caractéristique de la bobine considérée. On l'appelle coefficient d'auto-induction.

L en Henry. (H)

$$e = -L\frac{di}{dt}$$



Application de l'auto-induction

Les effets d'auto induction sont très utilisés en courant alternatif.

Energie électromagnétique

Lors de l'ouverture de K, l'effet d'auto-induction se traduit par l'apparition d'une énergie électrique relativement importante. La mise en évidence d'une énergie électrique relativement importante transformée par effet joule. Cette énergie fournie par le solénoïde existait sous forme électromagnétique.

Cette énergie doit s'exprimer en fonction de l'intensité I du courant permanent et de l'inductance L du solénoïde.

$$\Delta W = E\,\Delta Q$$

$$dW = e\,dQ$$

$$dW = e\,i\,dt \qquad e = -L\frac{di}{dt}$$

$$dW = -L\,i\,\frac{di}{dt}\,dt$$

$$\frac{dW}{di} = -L\,i$$

$$W = f(L, i)$$

$$\frac{dW}{di} = f'(L, i)$$

similitude : $\frac{dW}{di} = -L\,i$

$$\frac{dy}{dx} = -a\,x$$

$$W = -\frac{1}{2}L\,i^2 + C^{te}$$

$C^{te} = 0$ car $i = 0$, $W = 0$.

en valeur absolue

$$W = +\frac{1}{2}L\,i^2$$

Le signe - correspond au fait que l'énergie considérée est perdue par le système.

exemple : calculer l'énergie électromagnétique emmagasinée par une bobine sans fer dont l'inductance propre est $L = 8.10^{-3}$ H.

Intensité du courant : 10 A.

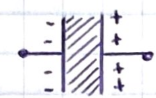
$$W = \frac{1}{2}.\,8.10^{-3}.\,10^2 = 4.10^{-1} = 0{,}4\ \text{J}.$$

Si la bobine est à noyau de fer, l'inductance propre est considérablement augmentée. Soit de 400 fois sa valeur.

Alors $W' = 160$ J. Cette énergie est relativement importante. Remarque : L'énergie électromagnétique d'une bobine parcouru par un courant I est

stoquée dans l'espace où règne le champ magnétique.
La création d'un champ magnétique met en jeu une forme d'énergie qui est intégralement restituée par la disparition du champ.

CONDENSATEURS



On constitue un système appelé condensateur au moyen de 2 plaques conductrices planes et parallèles séparées par un isolant et relié aux pôles d'un générateur. L'isolant peut être l'air ou le vide.

Etude expérimentale

G : galvanomètre "balistique" : propriété : la déviation du spot est sensiblement proportionnelle à la quantité d'électricité qui le traverse q (si toutefois Δt très petit).

Commutation en ① : déviation du galvanomètre qui n'est pas permanente. Sa durée est assez brève puis l'aiguille revient à 0. Ceci nous indique que pendant une certaine durée assez brève, un courant a circulé dans le circuit ①.

Commutons en ② : Le générateur est hors circuit. On observe une déviation de sens contraire du spot du galvanomètre et d'égale amplitude. De même, le spot revient rapidement à 0. On en déduit que le circuit ② a été parcouru par un courant de sens contraire au précédent dans la portion AK du circuit.

On peut, compte tenu des propriétés de ce galvanomètre préciser que la portion AK du circuit a été traversée lors des 2 commutations successives par la même quantité d'électricité Q.

Interprétation : on doit en conclure que le condensateur a enmagasiné une certaine quantité d'électricité Q (en ①) et a ensuite restitué cette même quantité Q. Dans le cas ①, le condensateur s'est chargé. Dans ②, il se décharge.

A l'instant précis où on ferme le circuit, on a :
Potentiel $V_A > V_{P_A}$; $V_{P_B} > V_B$. Ceci entraîne : Des électrons libres de la plaque P_A remontent le potentiel vers le pôle + du générateur.

Il en résulte que le potentiel de la plaque P_A augmente alors que le potentiel de la plaque P_B diminue. Le cas limite est : $V_{P_A} = V_A$ et $V_{P_B} = V_B$. La circulation d'électrons cesse, donc l'intensité cesse.

Décharge : $V_{P_A} > V_{P_B}$. Il prend naissance un courant d'électrons de sens $P_B \to P_A$ jusqu'à ce qu'on ait l'égalité $V_{P_A} = V_{P_B} \Leftrightarrow i = 0$

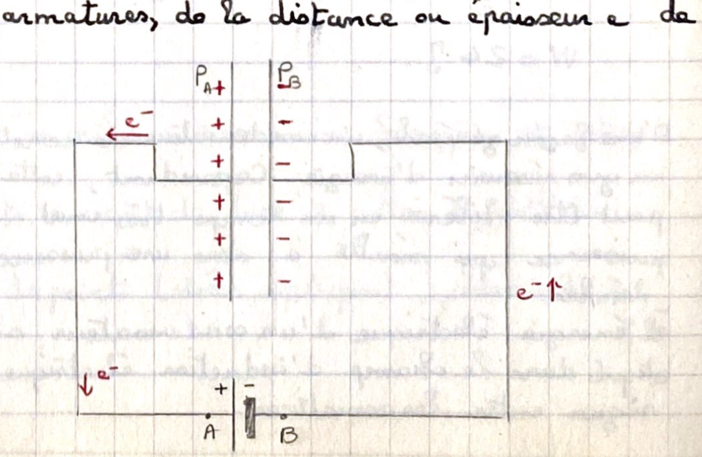
Remarque importante : la quantité d'électricité Q qui traverse le circuit aussi bien lors de la charge que de la décharge, est portée en valeur absolue par chacune des armatures du condensateur.

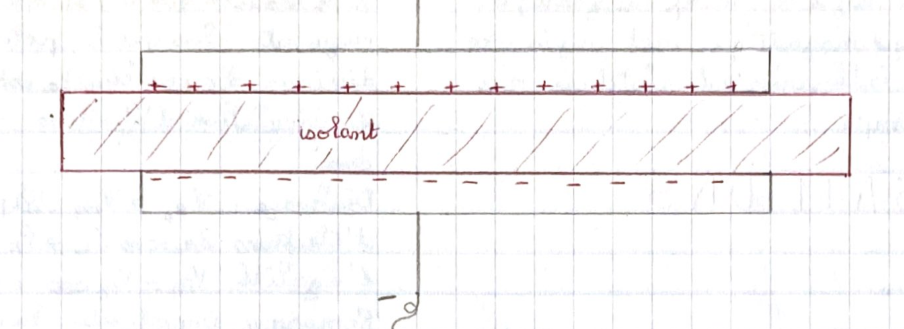
Capacité d'un condensateur

L'expérience montre que la quantité d'électricité Q enmagasinée par un condensateur donné est proportionnelle à la différence de potentiel U entre ses armatures : $q = kU$.
Cette constante k caractérise le condensateur considéré. On l'appelle la capacité C du condensateur :

$$Q = CU \quad \text{car} \quad \frac{Q}{U} = C^{te}$$

Unité de capacité : C = 1 si Q = 1 C, U = 1 V
C en C/V ($C.V^{-1}$) = 1 F (1 Farad)
Cette capacité est énorme. La capacité des condensateurs usuels est très inférieure à 1 F.
mF, μF, nF, (nanofarad = 10^{-9} F), pF (picofarad = 10^{-12} F)
La capacité d'un condensateur dépend de ses caractéristiques.
Considérons le cas simple d'un condensateur plan (voir figure ci-dessous). La capacité C d'un condensateur est indépendante de la nature des armatures et de l'épaisseur de ses armatures. On montre d'ailleurs que la charge des armatures n'est pas répartie dans leur volume mais est distribuée sur les surfaces en regard. Par contre, la capacité d'un condensateur dépend de l'aire de la surface en regard des armatures, de la distance ou épaisseur e de





l'isolant entre ses armatures, de la nature de cet isolant. La capacité d'un condensateur est proportionnelle à l'aire des surfaces en regard ; inversement proportionnelle à l'épaisseur e de l'isolant ; proportionnelle à une grandeur caractérisant l'isolant, que l'on désigne par ε et qui est sa permittivité électrique (perméabilité).

$$C = 8,85.10^{-12}\ \frac{\varepsilon S}{e}$$

vide : $\varepsilon_0 = 1$ céramiques : 100 à 10^3

verres : 3 à 4

mica : 6 à 8.

ex : calculer l'aire de la surface des armatures d'un condensateur plan de capacité C = 1 F et dont l'isolant serait une feuille de mica $\varepsilon = 8$, d'épaisseur 10^{-4} m.

$$S = \frac{C}{8,85.10^{-12}} \cdot \frac{e}{\varepsilon} = \frac{10^{-4}}{8,85.10^{-12}.8} =$$

$1,4.10^6\ m^2$

Energie d'un condensateur chargé.

On ne peut exprimer cette énergie par la formule W = UQ car U n'est pas constant. On considère alors une quantité ΔW très petite de travail effectuée par une très petite fraction de charge. (Voir partie exercice).

$$W = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} Q U = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$$

exercice.

C = 10^{-3} F ; U = 220 V

$$W = \frac{1}{2} . 10^{-3} . 22^2 . 10^2 = 242 . 10^{-1}$$

W = 24 J.

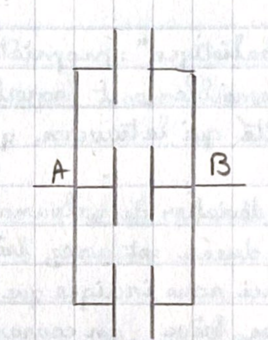
D'une façon générale, un condensateur ne constitue pas un gros réservoir d'énergie. Cependant, cette énergie peut être libérée en un temps très court. La puissance qui résulte a alors une puissance considérable.

L'énergie électrique d'un condensateur chargé est stocké dans le champ d'induction électrique qui règne entre les armatures.

Tension maximale de charge

Un condensateur ne peut supporter qu'une tension maximale de charge qui dépend de la nature de l'isolant, et qui est d'autant plus faible que e est plus faible. Au delà de cette tension, un étincelle jaillirait entre les armatures. Le condensateur est dit claqué.

Association des condensateurs en //.



Pour des condensateurs associés en //, la capacité de l'ensemble est la somme des capacités des condensateurs.

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

2°/ En série.

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$Q = Q_1 \pm Q_2 = Q_3$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

\ OPTIQUE ~ GENERALITES

La lumière.

C'est ce par quoi on peut voir les objets lumineux. Les objets lumineux émettant de la lumière. On distingue les objets qui produisent la lumière (sources lumineuses : soleil, étoiles, lampes à incandescence).

Les objets éclairés qui eux reçoivent de la lumière et qui l'émette dans toutes les directions. On dit qu'il y a diffusion (planètes ...).

La condition pour qu'un objet puisse être perçu par l'œil d'un observateur est que cet œil reçoive de lui de la lumière. L'optique ne fait aucune distinction entre source de lumière et objet éclairé. Ce sont tous des objets lumineux.

On appelle point lumineux une partie quasi ponctuelle d'un objet lumineux ou bien un objet lumineux assimilable à un point.

Tout objet lumineux est une juxtaposition de points lumineux émettant de la lumière indépendamment les uns des autres.

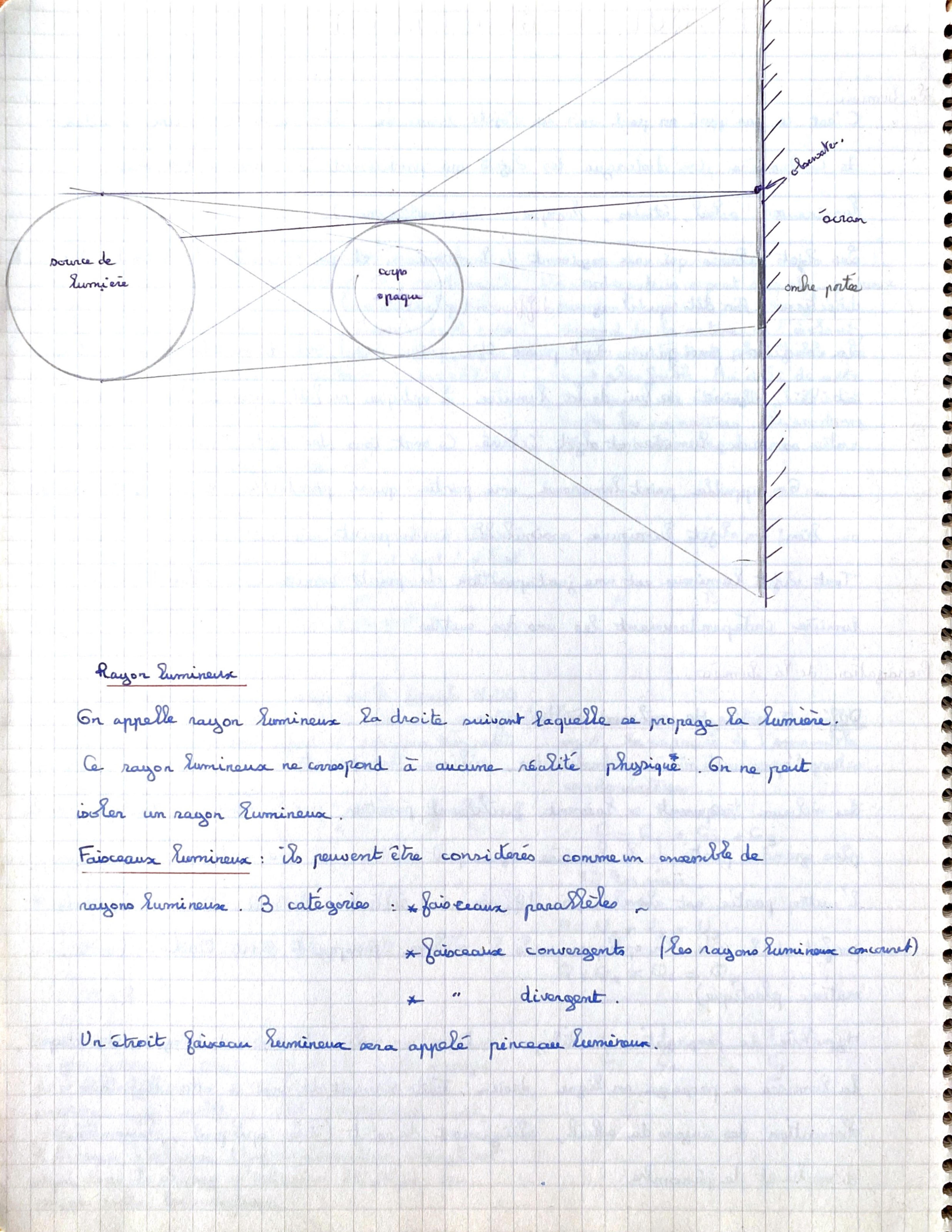
Propagation de la lumière.

Différentes sortes de milieux à distinguer

corps opaques, milieux translucides, milieux transparents.

Les milieux trasparents se laissent facilement pénétrer par la lumière. Toutefois, si la plus grande partie de la lumière reçue peut en traverser une certaine épaisseur, l'autre partie est absorbée, ou diffusée, ou réflechie. Le seul milieu transparent parfait est le vide. En optique, seuls les milieux transparents sont étudiés (verre, matière plastique).

Hypothèse de propagation rectiligne : Dans un milieu transparent homogène et isotrope, la lumière se propage en ligne droite. Faits servant de base à cette hypothèse : observation des rayons du soleil, alignement de points (visées optiques), phénomènes d'ombre et de pénombre.



Rayon lumineux

On appelle rayon lumineux la droite suivant laquelle se propage la lumière.
Ce rayon lumineux ne correspond à aucune réalité physique. On ne peut isoler un rayon lumineux.

Faisceaux lumineux : Ils peuvent être considérés comme un ensemble de rayons lumineux. 3 catégories : * faisceaux parallèles
* faisceaux convergents (les rayons lumineux concourent)
* " divergent.

Un étroit faisceau lumineux sera appelé pinceau lumineux.

LA REFLEXION ~ LES MIROIRS.

Réflexion

On appelle réflexion de la lumière le renvoi dans une direction privilégiée d'un faisceau lumineux reçu par un objet appelé "miroir". La surface réfléchissant la lumière est appelée surface réfléchissante.

Image d'un objet donnée par un miroir plan.

Un miroir plan donne d'un objet une image de cet objet symétrique par rapport au plan du miroir.
Interprétation (voir page de derrière). (fig 1)
Soit un point objet lumineux A. L'observateur voit son image A' dans le miroir parcequ'il reçoit des rayons lumineux qui semblent provenir de A' mais qui en fait sont des rayons issus de A qui se sont réfléchis sur le miroir. A' est symétrique de A. Le plan formé par la normale N et le rayon incident est le plan d'incidence.

1-loi
"Le rayon réfléchi est dans le plan d'incidence"

2-loi
"L'angle de réflexion r est égal à l'angle d'incidence i."

Vérification directe.

La vérification ne peut être parfaite car on ne peut isoler un faisceau infiniment étroit, mais on peut la réaliser au demi degré près. On retrouve les mêmes lois en mécanique dans le choc élastique d'un point matériel sur une paroi plane.

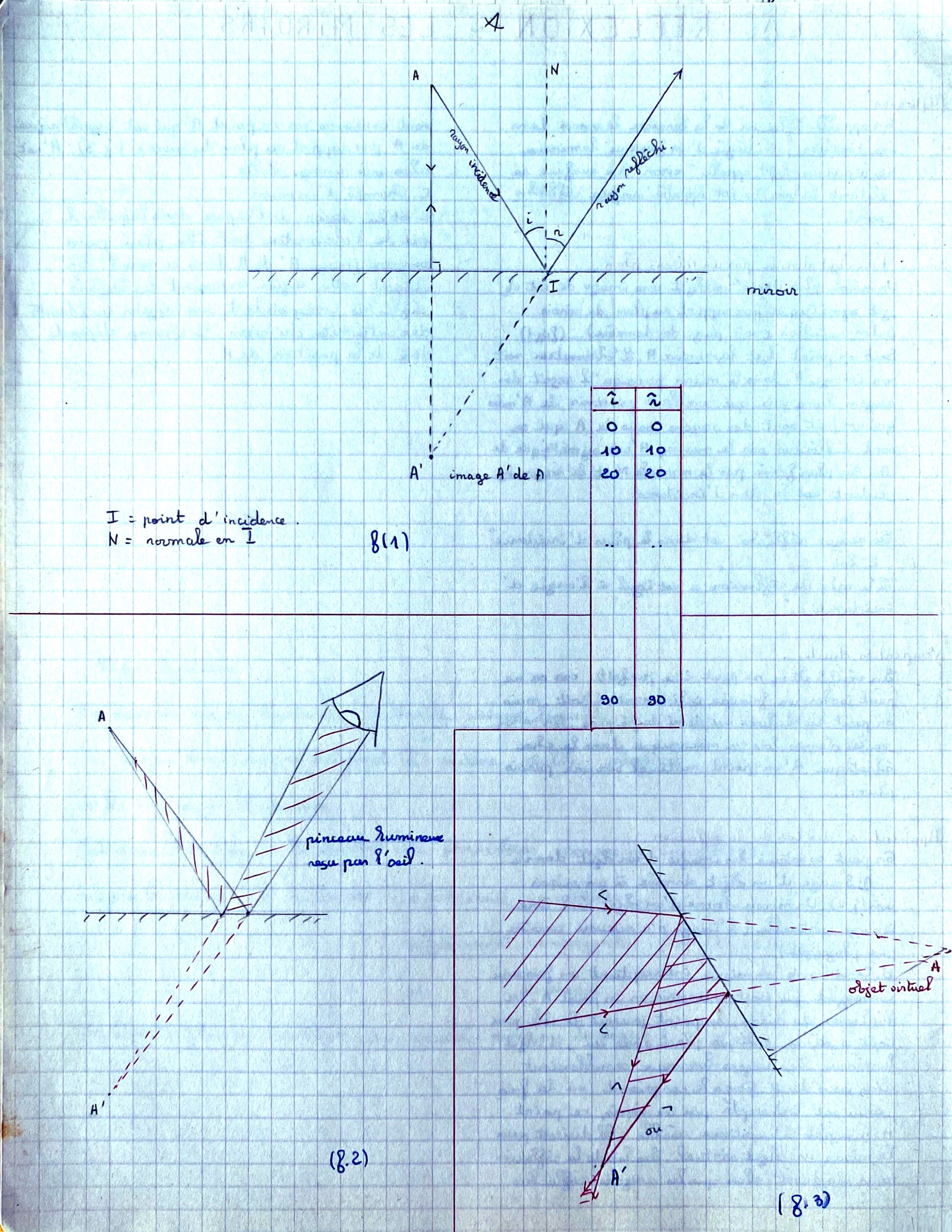
Application des lois de la réflexion.

On peut construire les images d'un objet donné.

A) Image d'un objet donnée à un miroir.
voir (f.2). Un miroir donne d'un objet réel une image virtuelle (l'image n'a aucune existence physique).

B. Considérons un miroir interceptant un faisceau convergent qui irait concourir en un point A. En l'absence du miroir, le point jouerait le rôle pour tout système optique placé après lui, d'objet lumineux. Les rayons lumineux sembleraient alors issus de A. Dans le cas présent où le faisceau est intercepté par un miroir, ce point A n'a plus d'existence réelle. Il devient pour le miroir un objet virtuel. Les lois de la réflexion nous montrent alors que les rayons réfléchis vont concourir en un point A' qui est symétrique de A par rapport au plan du miroir (f.3). A' est alors une image réelle.

C. Champs d'un miroir :
C'est la région de l'espace dans laquelle l'oeil de l'observateur doit être placé pour voir une image A' de A dans ce miroir. On obtient cette région en traçant les rayons réfléchis correspondant aux rayons incidents des extrémités du miroir. Ce champ dépend donc de la position de A.



$\hat{i}$	$\hat{r}$
0	0
10	10
20	20
..	..
90	90

REFRACTION DE LA LUMIERE

Phénomène (F1)

On appelle réfraction de la lumière le brusque changement de direction qu'elle subit à la traversée de la surface de séparation de 2 milieux transparents homogènes.
Ce phénomène est très général. Il est valable pour 2 milieux transparents quelconques.

Etude expérimentale : loi de Descartes.

Une première loi concerne la position géométrique du rayon réfracté par rapport au rayon incident.

1° loi

"Le rayon réfracté est dans le plan d'incidence" (plan formé par le rayon incident et la normale au plan de séparation des milieux)."

La seconde loi précise la relation entre les angles i d'incidence et ~~reflex~~ r de refraction.

2° loi (tableau 2)

On constate que les rapports $\frac{\sin i}{\sin r}$ ont une valeur sensiblement constante, donc $\frac{\sin i}{\sin r} = C^{te}$

$\frac{\sin i}{\sin r} = C^{te}$ La valeur de cette constante dépend des 2 milieux considérés. Dans le cas de l'expérience 1 : milieu ① : air , milieu ②: plexiglas. Cte est donc une caractéristique optique de l'ensemble de ces 2 milieux. ~~L'~~
On appelle C^{te} : "indice de réfraction relatif du milieu ② par rapport au milieu ①". On le désigne par la lettre n. On écrit alors :

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{2,1} \quad (= n)$$

Cette relation constitue la seconde loi de la refraction.
Dans le cas où le premier milieu est l'air, la loi s'écrit $\frac{\sin i}{\sin r} = n$. (n : indice du milieu transparent par rapport à l'air.

$$\sin i = n . \sin r$$

On peut vérifier expérimentalement que en inversant le sens de propagation d'un rayon lumineux, on ne modifie pas son trajet (principe du retour inverse). Ceci se retrouvera dans tous les cas de l'optique.
Cas limite (voir figure page suivante).

$i \Rightarrow 90°$, $\sin i = 1$

$$\sin \lambda = \frac{1}{n}$$

Si un rayon lumineux incident est contenu dans le milieu transparent et si son angle d'incidence est supérieur à λ, il y a réflexion totale de ce rayon sur la surface de séparation, laquelle se comporte alors comme un miroir parfait.
La région de l'espace du milieu transparent qui contiendra tous les rayons réfractés est un cône dont l'axe est la normale au point d'incidence et qui a pour demi-angle au sommet l'angle limite λ.

Remarque :
Pour un petit angle ($\leqslant 6°$). On a $\sin x \simeq x$
$i \simeq nr$.

Indice absolu d'un milieu transparent.

On appelle indice absolu d'un milieu transparent son indice de réfraction par rapport au vide.
n = 1 (vide).
L'air est un milieu très peu réfringent. Son indice par rapport au vide est sensiblement égal à 1 par défaut. L'indice relatif d'un milieu transparent par rapport à l'air est pratiquement égal à son indice absolu.

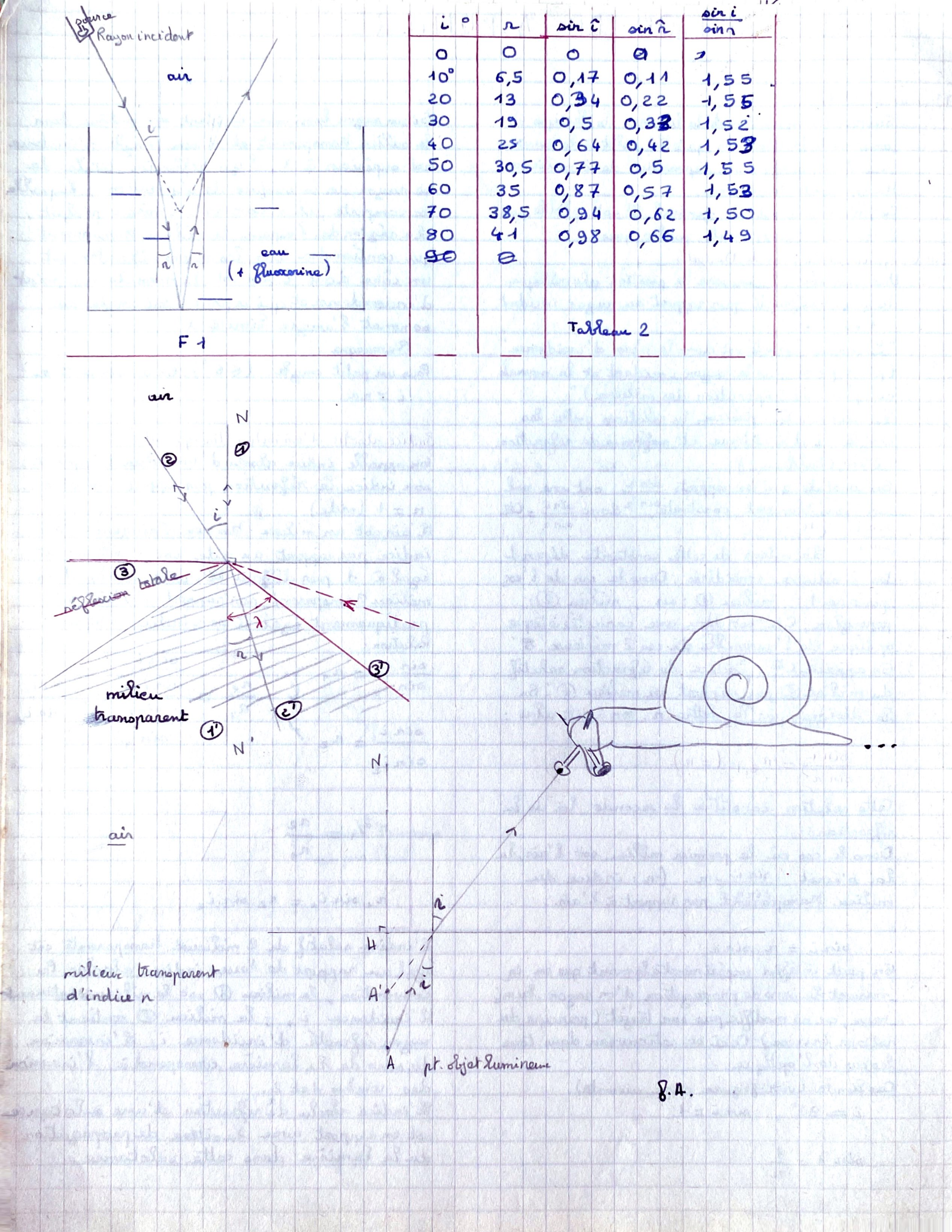
Relation :

$$\left.\begin{array}{l}\frac{\sin i}{\sin i_1} = n_1 \\ \frac{\sin i}{\sin i_2} = n_2\end{array}\right\} \quad \frac{n_1}{n_2} = \frac{\frac{\sin i}{\sin i_1}}{\frac{\sin i}{\sin i_2}} = \frac{\sin i_2}{\sin i_1}$$

$$n_{2/1} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

L'indice relatif de 2 milieux transparents est égal au rapport de leurs indices absolus. Par convention, le milieu ① est le milieu contenant l'incidence i_1 ; le milieu ② contient le rayon réfracté d'incidence i_2. L'inversion du sens de la lumière correspond à l'inversion des nombres 1 et 2.
L'indice absolu de réfraction d'une substance est en rapport avec la vitesse de propagation de la lumière dans cette substance.



i °	r	sin î	sin r̂	sin i / sin r
0	0	0	0	1
10°	6,5	0,17	0,11	1,55
20	13	0,34	0,22	1,55
30	19	0,5	0,33	1,52
40	25	0,64	0,42	1,53
50	30,5	0,77	0,5	1,55
60	35	0,87	0,57	1,53
70	38,5	0,94	0,62	1,50
80	41	0,98	0,66	1,49
~~90~~	~~0~~			

Tableau 2

Un dioptre plan

C'est le système optique formé par 2 milieux transparents séparés par une surface plane et considérées comme capables de donner une image d'un objet lumineux.

On constate que les différents rayons issus de A et traversant le dioptre ne proviennent semblent pas provenir pour l'observateur qui les reçoit d'un même point A'. Donc, un dioptre ne donne pas d'un point objet lumineux A une image ponctuelle A'. On a un ensemble de points A' rapprochés et l'image est floue surtout où les rayons ont une grande incidence.

Cependant, si l'observateur regarde le point A, dans une position voisine de la normale en A, il voit une image assez nette A'.

8.A :

$$\begin{cases} HI = A'H \cdot tg\, r \\ HI = AH \cdot tg\, i \end{cases}$$

donc $$\frac{HA'}{HA} = \frac{tg\, i}{tg\, r} \simeq \frac{i}{r}$$

or, $\frac{\sin r}{\sin i} = n$. donc $\frac{HA'}{HA} = \frac{1}{n}$

$$\boxed{\frac{HA}{HA'} = n}$$

Et cas général : ① → ② :

$$\boxed{\frac{HA_2}{HA'} = \frac{n_2}{n_1}}$$ car $$\frac{HA_2}{HA'} = \frac{tg\, i_1}{tg\, i_2} \simeq \frac{i_1}{i_2}$$

Lame à faces parallèles.

On appelle ainsi tout système optique formé par un système transparent limité par 2 plans parallèles.

On peut vérifier expérimentalement ce fait : le décalage est d'autant plus important que l'incidence i est plus grande, que l'épaisseur est [illegible] que l'indice du système est plus grande.

Calculer A'.

$$\frac{HI'}{HI} = \frac{1}{n}$$

$$AA' = II' = HI - HI' = e - \frac{e}{n}$$

$$\boxed{AA' = e\left(1 - \frac{1}{n}\right)}$$

On remarque que dans l'expression de AA' ne figure pas l'incidence du rayon. AA' ne dépend que de l'épaisseur de la lame et de l'indice n. Ainsi tous les rayons issus de A traversant la lame semblent provenir d'un même point objet image A'. AA' représente un rapprochement apparent de l'objet.

L'image donnée par le système est parfaite.

Conclusion :

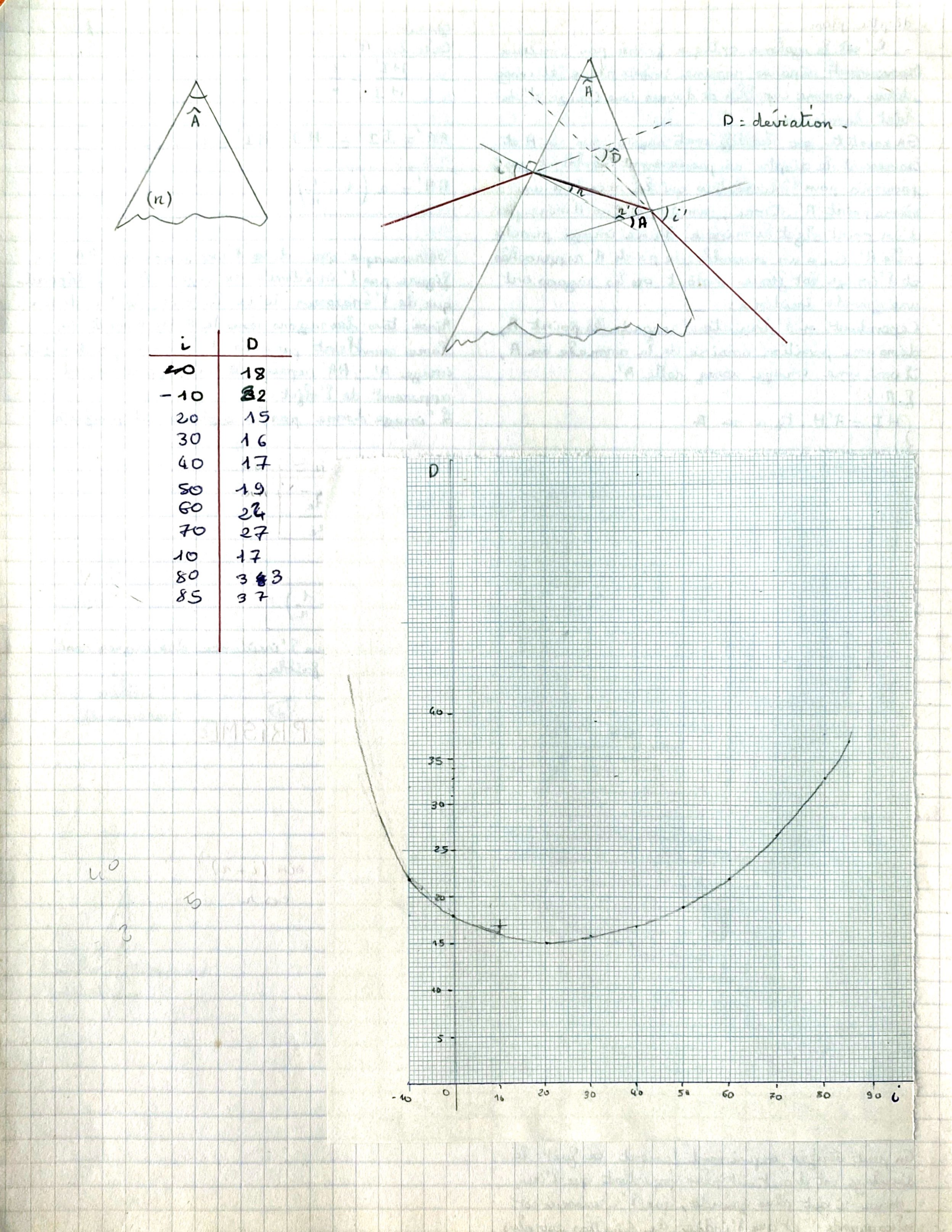
$$\boxed{\frac{HA_1}{n_1} = \frac{HA_2}{n_2}}$$

$$\boxed{AA' = e\left(1 - \frac{1}{n}\right)}$$

Sous réserve que l'incidence des rayons reste relativement faible.

LE PRISME

$$d = e\,\frac{\sin(i - r)}{\cos r}$$



i	D
0	18
-10	22
20	15
30	16
40	17
50	19
60	22
70	27
10	17
80	33
85	37

LE PRISME

On appelle ainsi tout système optique formé par un milieu transparent et limité par 2 plans non parallèles.

Caractéristiques : $\hat{A}$, n.

$\sin i = n \sin r$. (1)

$\sin i' = n \sin r'$. (2)

$r + r' = A$ (3)

$D = D_1 + D_2 = i - r + i' - r' = i + i' - A$ (84)

$$\sin i = n \sin r$$
$$\sin i' = n \sin r'$$
$$A = r + r'$$
$$D = i + i' - A$$

Nous constatons que la déviation $\hat{D}$ ne dépend que des caractéristiques du prisme, $\hat{A}$ et n, et de l'angle d'incidence $\hat{i}$. Elle est indépendante de la distance du point d'incidence à l'arête du prisme.

Etude de la variation de la déviation D d'un prisme en fonction de l'angle d'incidence i. Pour des valeurs croissantes de i la courbe passe par un minimum puis augmente.

Pour le prisme étudié, la déviation minimale est de 15° a lieu pour $i \simeq 20°$.

Rechercher théoriquement les conditions de la déviation minimum d_m.

$n = 1,5$, $A = 30°$

Exercice.

Fluide
Pression constante
p

On admet dans la chambre d'un cylindre un fluide de puissance constante p. Le diamètre du piston est 10 cm. Quest. Calculer le travail recueilli par le déplacement du piston sur une longueur de 25 cm. Si le fluide est de la vapeur d'eau provenant d'une chaudière, calculer en calories la quantité de chaleur disparue.

Réponse.

Soit F la force s'exerçant sur le piston. Nous avons, en désignant par P la pression du gaz et par S la surface du piston :

$P = \frac{F}{S}$ d'où $F = S \times P$

Comme $S = \pi r^2$, $F = P \times \pi r^2$

Comme $d = 2r$, $r = \frac{d}{2}$, alors $F = P\pi \frac{d^2}{4}$

Travail recueilli par le déplacement de $l = 25$ cm

$W = Fl = P\pi \frac{d^2}{4} . l$

Application numérique.

$d = 0,1$ m $l = 0,25$ m $P = p$

1 bar $= 10^5$ Pa

$W = P . 3,14 . \frac{0,01}{4} \times 0,25 = P \times 1,57 \times 0,01 \times 0,12$

$= P \times 1884 \times 10^{-6}$ Joule

$W = p \times 1884 \times 10^{-6}$

Si $p = 30$ bars , ou encore $p = 30 \times 10^5$ Pa , nous avons :

$W = 30 \times 10^5 \times 1884 \times 10^{-6}$

$W = 5652$ J

$W = 5,652$ kJ
5,7

Quantité de chaleur disparue : (Conservation de l'énergie)

or 1 cal $\simeq$ 4,18 J

$W = Q = \frac{565200}{4,18} \simeq$ **1376 cal**

<u>Remarque</u> : On peut constater que dans ce cas le travail produit s'exprime simplement en fonction de la pression et du volume

$W = p S l = p.(V_2 - V_1)$ balayé engendré

~~Il est expri~~ par le déplacement du piston.

<u>Exercice proposé</u>.

Construire sur papier millimétré la courbe ayant pour équation

$$\begin{cases} x = 5(\alpha - \sin \alpha) \\ y = 5(1 - \cos \alpha) \end{cases}$$

en rd $\alpha = 0$, $\alpha = \frac{\pi}{2}$, $\alpha = \pi$, $\alpha = \frac{3}{2}\pi$, $\alpha = 2\pi$ ...

$\alpha = 30°, 60°, 120°, 150°$ (puisqu'il y a symétrie de la cycloïde)

exercice proposé

Quel est l'intensité de la force qui s'exercerait entre 2 charges unité placées à 10 cm l'une de l'autre.

Selon la loi de Coulomb :

$$F = 9.10^9 \frac{q \cdot q'}{d^2}$$ et ici, comme $q = q' = 1\,C$

$d = 10^{-1}\,m$

$$F = 9.10^9 \frac{1}{10^{-2}}$$ d'où $F = 9.10^{11}\ N$

Nous constatons que cette force est énorme. Les interactions électriques sont des interactions fortes bien que apparemment on ait l'impression qu'elles soient faibles. La raison en est que les charges électriques des corps électrisés sont extrêmement faible.

exercice

$U = 220$ Volts et $l = 40$ cm

$$E = \frac{U}{l} = \frac{220}{0{,}4} = 550\ V/m\ \text{(ou } N/C\text{)}$$

Un tel champ est cependant un champ assez faible

Exercice

Soit une masse m de 0,1 g d'aluminium {réparti à la surface / entourant une petite sphère qui est électrisé. Ce corps porte une charge négative $|q^-| = 10^{-8}$ C . Comparer le nombre d'électrons portés par l'aluminium par rapport au nombre d'atomes contenu dans les 0,1 g de ce corps.

$$27 \text{ g} \rightarrow 6.10^{23} \text{ atomes}$$

$$0,1 \text{ g} \rightarrow \frac{6.10^{23}.10^{-1}}{27} = \frac{2}{9}.10^{22} = 0,02.10^{22}$$

$$n = 2.10^{20} \text{ atomes.}$$

Nombre d'électrons :

$$\frac{10^{-8}}{1,6.10^{-19}} = 7.10^{10} \text{ electrons} = n'$$

On constate qu'il y a moins d'un électron pour 10^{10} atomes.

Le phénomène d'électrisation ne met en jeu qu'un nombre d'atomes du corps relativement très petit

Exercice

Un fil de cuivre de diamètre d = 1mm est parcouru par un courant de 10 A.

1°/ Calculer le nombre N d'électrons libres par unité de volume du métal.

2°/ Calculer le nombre n d'électrons libres qui traversent en une seconde une section donnée du fil.

(On admet qu'ils ont tous la même vitesse v dans la direction du fil.

3°/ Calculer cette vitesse.

Il y a 1 électron libre par atome de cuivre.

masse at. Cu = 64 densité du cuivre = 8,9

1°/ $\mu = 10^3 d$ (kg/m^3)

Volume unité : 1 m^3

Poids volumique du cuivre : 8,9 g/cm^3

~~8 900 kg~~

8,9 kg/dm^3

8 900 kg/m^3

Donc, la masse de cuivre de 1 m^3 de cuivre est donc de $89 . 10^5$ g.

Il y aura $\dfrac{6.10^{23} . 89 . 10^5}{64}$ ≃ ~~$1,4 . 10^5$ atomes~~ $8,3 . 10^{28}$ atomes.

Expression d'une quantité d'électricité traversant une ~~circuit~~ section quelconque est égal au produit du nombre d'électrons ayant traversé cette ~~ce~~ section par la charge élémentaire. $Q = n\,|\bar{e}|$

$$I = \frac{Q}{t}$$

Donc : N = ~~$1,4 . 10^5$~~ $\boxed{8,3 . 10^{28}}$ électrons libres

2°/

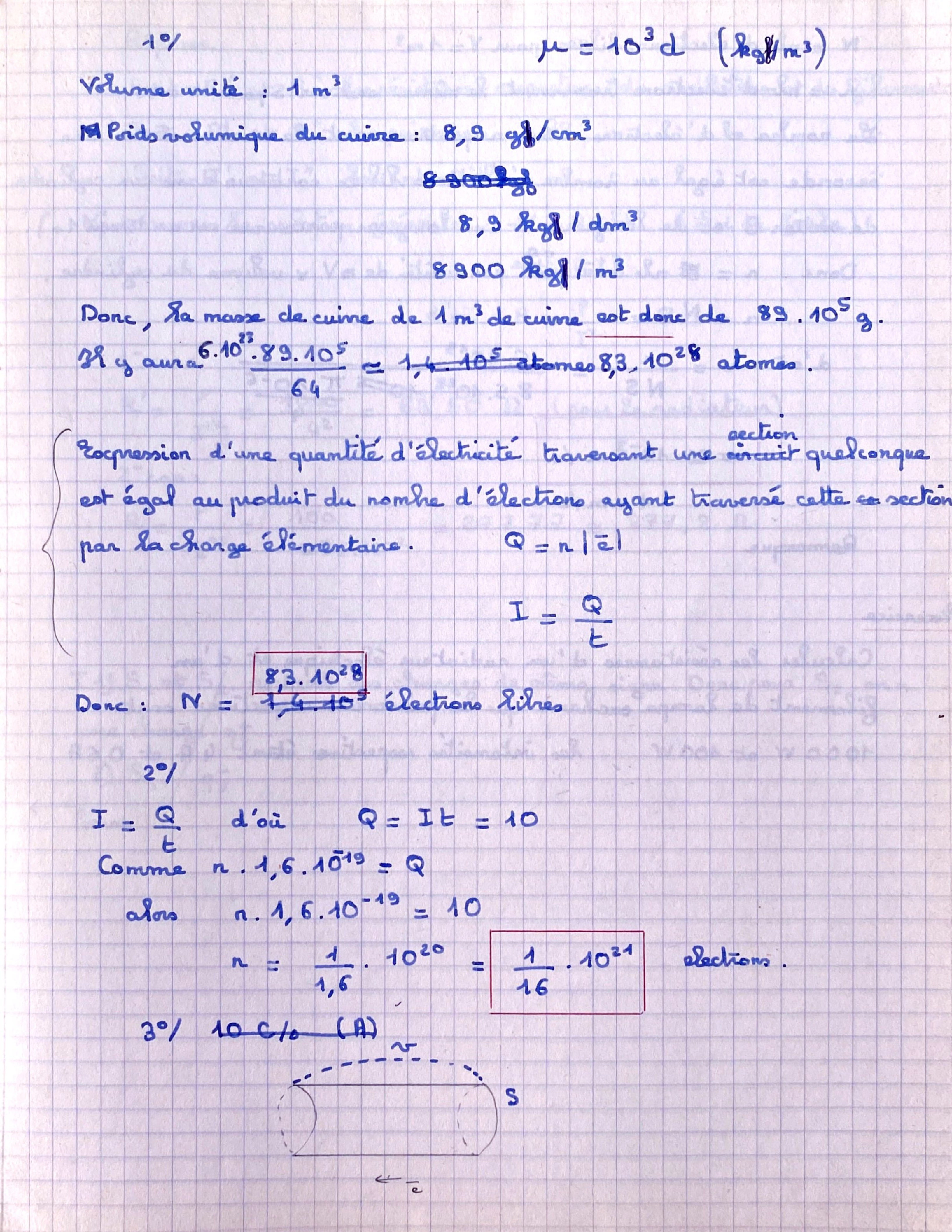
$I = \dfrac{Q}{t}$ d'où $Q = It = 10$

Comme $n . 1,6 . 10^{-19} = Q$

alors $n . 1,6 . 10^{-19} = 10$

$n = \dfrac{1}{1,6} . 10^{20} = \boxed{\dfrac{1}{16} . 10^{21}}$ électrons.

3°/ ~~10 C/s (A)~~



N = nb d'électrons libres pour $V = 1 m^3$

n = nb d'électrons traversant la même secteur S pour $t = 1 s$.

Le nombre ~~I~~ d'électrons libres n qui traversent la section S en une seconde est égal au nombre d'électrons libres contenus dans un cylindre de section S et de longueur v (ou longueur parcourue en un temps 1 s).

Donc n = nb d'$\bar{e}$ libre par unité de V × volume du cylindre.

$n = N S v$

d'où $v = \frac{n}{NS} = \frac{6.10^{19}}{8,5.10^{28}. \frac{\pi.10^{-6}}{4}}$

$$v \simeq 10^{-3} \text{ m/s}$$

1 mm/s

Remarque

Exercice

Calculer les résistances d'un radiateur électrique et d'un filament de lampe sachant que les puissances respectives sont 1000 W et 100 W, les intensités respectives étant 4 A et 0,6 A.

→

Réponse.

Soit R′ et R″ les résistances respectives du radiateur et du filament.

Soit P′ et P″ les puissances " "

Soit I′ et I″ les intensités " "

Nous avons la relation générale : $W = RI^2t$ (Loi de Joule)

$$P = RI^2$$

d'où $R = \frac{P}{I^2}$

1^{er} cas :

$$R' = \frac{P'}{I'^2} = \frac{1000}{4^2} = \boxed{62,50\ \Omega}$$ (pour le radiateur)

2^{e} cas :

$$R'' = \frac{P''}{I''^2} = \frac{100}{36.10^{-2}} = 277,77 \simeq \boxed{277,8\ \Omega}$$

I 1) S_1 et S_2 portent des charges de même signe. Donc pour S_2, on a une charge q_2^+.

2) S_3 q_3^-

Posons

Exercice proposé.

On veut transporter du courant électrique à une distance de 25 km. La ligne est constituée par 2 fils de cuivre de diamètre 1 cm. On veut disposer de 5000 kW en bout de ligne. Quelle doit être l'intensité maximale du courant dans la ligne pour que la perte par effet Joule ne dépasse pas 20 % de la puissance utilisable.

ϱ (cuivre ph.) = 2.10^{-8} Ω.m.

Solution

G — Utilisateur

La puissance calorifique fournie est donnée par la loi de Joule :

$$P = RI^2$$

Or, cette puissance est aussi égale à $P = n\mathcal{P}$, en désignant par $n = \frac{20}{100}$ et $\mathcal{P} = 5000$ kW.

Nous avons donc :

$$RI^2 = n\mathcal{P} \qquad (1)$$

Mais, selon la définition de la résistivité d'un métal $\left[R = \varrho \frac{l}{s}\right]$, nous avons ici :

$$R = \varrho \frac{4l}{\pi d^2}$$

d'où, dans (1)

$$\varrho \frac{4l}{\pi d^2} I^2 = n\mathcal{P}$$

$$I^2 = \frac{n\mathcal{P}\pi d^2}{4\varrho l}$$

$$\boxed{I = \frac{d}{2}\sqrt{\frac{n\mathcal{P}\pi}{\varrho l}}}$$

Application numérique

$d = 1\,cm$ ou $10^{-2}\,m$

$\sqrt{\pi} = 1{,}77 \simeq 1{,}8$

$n = \frac{20}{100}$ ou $\frac{2}{10} = \frac{1}{5}$

$\rho = 2.10^{-8}\,\Omega.m$

$\ell = (2 \times 25)\,km$ ou $5.10^{4}\,m$

$\mathcal{P} = 5.10^{6}\,W$

D'où :

$$I = \frac{10^{-2}}{2} \sqrt{\frac{10^{6}\,\pi}{2.10^{-8}.5.10^{4}}} =$$

$$I = \frac{10^{-2}}{2} \sqrt{10^{9}.\pi}$$

$$I = \frac{10^{-2}}{2} . 1{,}8 . 10^{5} \sqrt{10^{-1}}$$ comme $\sqrt{0{,}1} \simeq 0{,}3$,

$$I = 9.10^{2}.0{,}3$$

$$\boxed{I = 270\,A}$$

Correction – × × × ×

P' ~~= puissance per~~ P' = 1000 kW (puissance perdue par effet Joule)

$P' = RI^{2}$

$s = \pi \frac{d^{2}}{4} = 7{,}9.10^{-5}\,m^{2}$

d'où $R = \rho \frac{\ell}{s} = 2.10^{-8} . \frac{25.10^{-3} \times 2}{7{,}9.10^{-5}} = \frac{100}{7{,}9} = 12{,}3\,\Omega$

$I = \sqrt{\frac{P'}{R}} = \sqrt{\frac{10^{6}}{12{,}3}} = \frac{1000}{3{,}5}$

$I = 285\,A$

Exercice

On veut déposer 1 kg de fer en 30 mn sur la cathode d'un électrolyseur dont l'électrolyte est du sulfate ferreux ($Fe^{++} SO_4^{--}$).
Quelle doit être l'intensité du courant ?

Solution

Loi de Faraday :

$$m = \frac{1}{\mathcal{F}} \cdot \frac{A}{n} \cdot It$$

d'où :

$$I = \frac{\mathcal{F} m}{t} \cdot \frac{n}{A}$$

Application numérique

$\mathcal{F} = 96\,500$ C

$m = 10^3$ g

$t = 30$ mn ou 1800 s

$n = 2$

$A = 56$

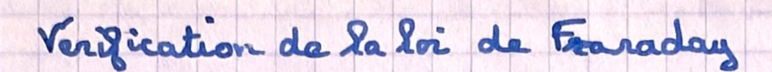
d'où

$$I = \frac{96\,500 \times 10^3}{1800} \cdot \frac{\cancelto{1}{2}}{\cancelto{28}{56}} \simeq 1914,5$$

$$I \simeq 1915 \text{ A}$$

trop important !

Remarque : électrolyse industrielle : on utilise des courants d'intensité de l'ordre de plusieurs milliers d'Ampères (→ 100 000 A)



Montage expérimental.

Rh.

H_2

A

Solution NaOH

Mesure

L'On fait passer un courant d'intensité constante connue dans l'électrolyseur, pendant une durée t mesurée au chronomètre et on mesure le volume V d'hydrogène dégagé à la cathode.

Intensité I du courant : 0,3 A

Durée t du passage du courant : t = 11 mn ou 660 s

Volume V d'hydrogène (d conditions de l'expérience) : V = 23,8 ml

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{PV}{T} \quad \text{d'où} \quad V_0 = V \frac{P}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T}$$

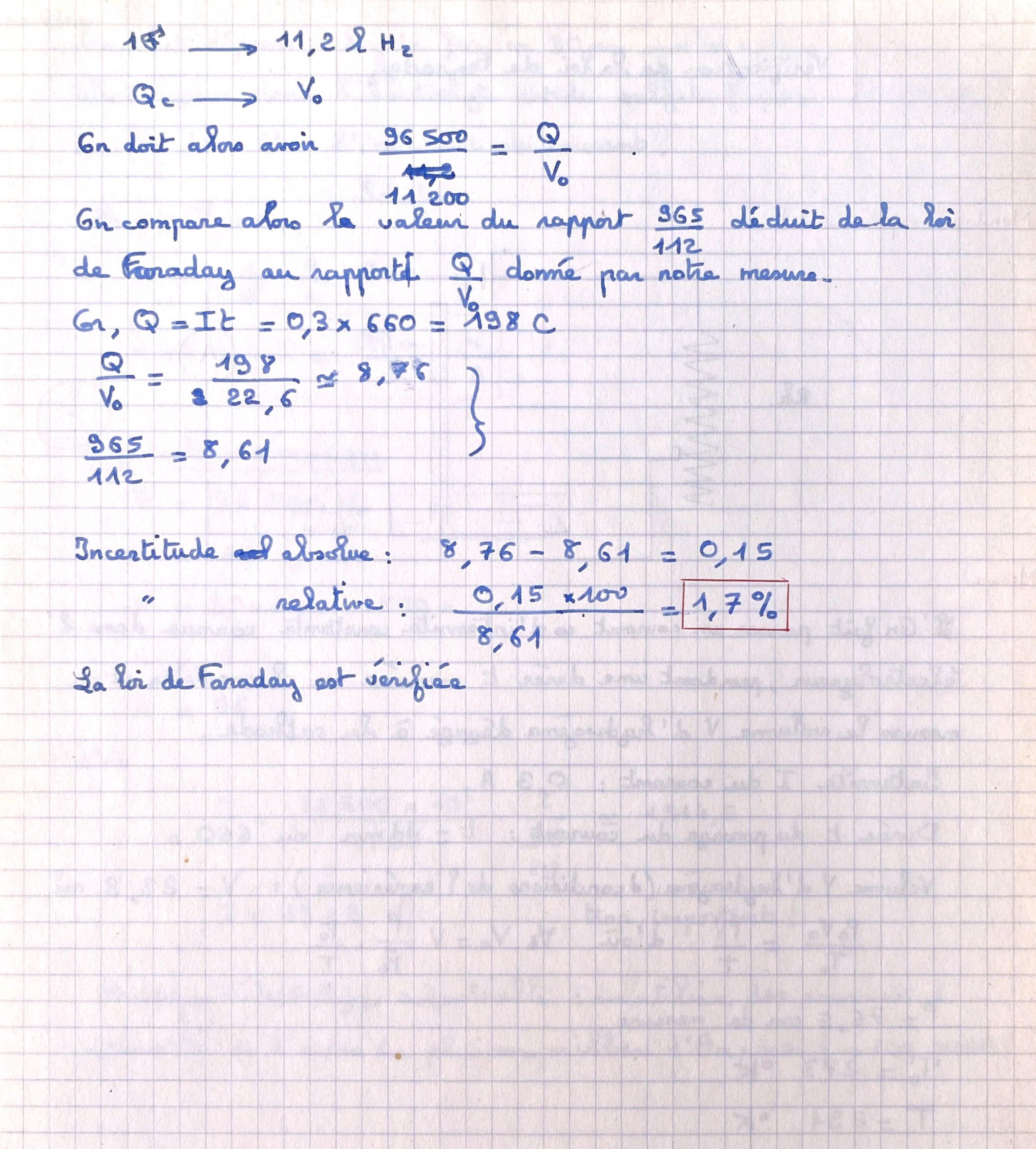
P = 76,5 cm de mercure.

$T_0 = 273$ °K

$T = 291$ °K

$$V_0 = 23,8 \cdot \frac{76,5}{76} \cdot \frac{273}{291} = 22,6 \text{ ml}$$

On, d'après la loi de Faraday (1F = 96 500C) dépose $\frac{1}{2}$ mole d'hydrogène.



$1F \longrightarrow 11,2 \ l \ H_2$

$Q_c \longrightarrow V_0$

On doit alors avoir $\dfrac{96\,500}{~~112~~ \ 11\,200} = \dfrac{Q}{V_0}$.

On compare alors la valeur du rapport $\dfrac{965}{112}$ déduit de la loi de Faraday au rapport $\dfrac{Q}{V_0}$ donné par notre mesure.

Or, $Q = It = 0,3 \times 660 = 198$ C

$$\frac{Q}{V_0} = \frac{198}{22,6} \simeq 8,76$$

$$\frac{965}{112} = 8,61$$

Incertitude ~~est~~ absolue : $8,76 - 8,61 = 0,15$

" relative : $\dfrac{0,15 \times 100}{8,61} = 1,7\ \%$

La loi de Faraday est vérifiée

Exercice illustrant la leçon IX. Loi d'Ohm à un générateur.

Nous observons le graphe : une droite peu graphe. →

joindre chacun des points (en tenant compte des incertitudes sur la mesure), et, par conséquent, la d.d.p. aux bornes du générateur ($V_P - V_N$) est une grandeur proportionnelle à ~~celle~~ l'intensité du courant.

On peut écrire : $V_P - V_N = \tau\, I$

Calcul de τ : Si $V_P - V_N = 3{,}5\,V$, alors $I = 4\,A$ d'où : $\tau = \frac{V_P - V_N}{I}$

$\tau = \frac{3{,}5}{4} \simeq 0{,}875$.

Pour le circuit de l'expérience, $(V_P - V_N) = 0{,}875 \times I$.

Analogie avec $U = RI$: c'est la preuve expérimentale de la loi d'Ohm pour une résistance. ~~R~~ En effet : $U = RI$ ⟶ $R = \frac{U}{I}$ ⟶ U et I sont proportionnels.

Recherche de la loi d'Ohm ~~au~~ dans un générateur :

E désignant la f.e.m. du générateur, la puissance $\mathcal{P}$ totale dissipée dans ~~l~~ tout le circuit est donnée par la relation $\mathcal{P} = EI$ (1)

La puissance totale $\mathcal{P}$ est égale à la puissance électrique développée à l'extérieur du générateur additionnée de la puissance électrique consommée par effet Joule à l'intérieur du générateur : $\mathcal{P} = P_e + P_c$

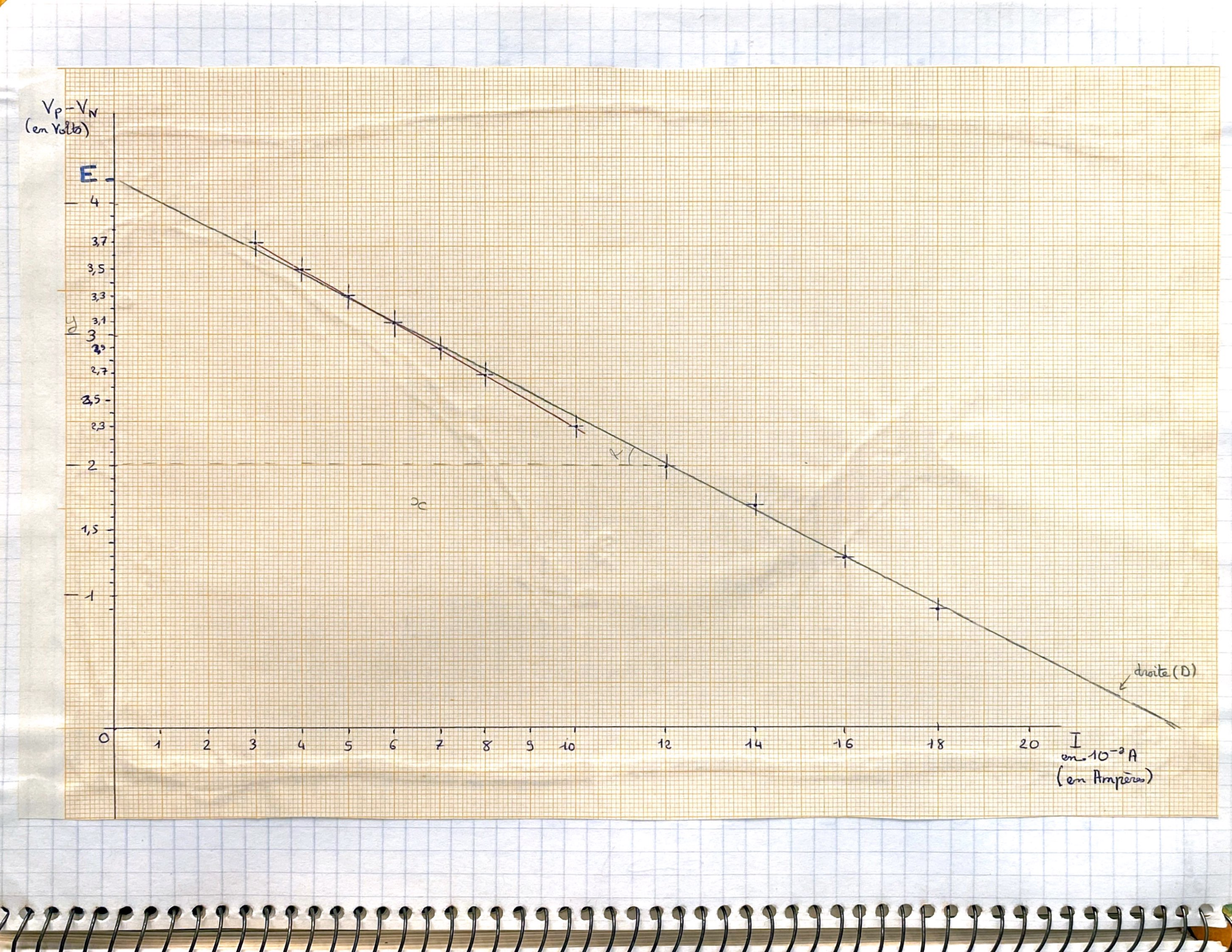
$\mathcal{P} = UI + r\,I^2$ (2)

↙ résistance interne du générateur.

En égalant (1) et (2) : $UI + r\,I^2 = EI$

$U + r\,I = E$

$U = E - r\,I$



$V_P - V_N$
(en Volts)
E
4
3,7
3,5
3,3
3,1
y
3
2,7
2,3
2
1,5
1
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
12
14
16
18
20
x
I
en 10^{-2} A
(en Ampères)
droite (D)

Correction –

→ Le graphe est une droite. Elle ne passe pas par l'origine.

Forme $y = ax + b$. La pente est négative donc $a < 0$

l'ordonnée à l'origine est égale à E (puisque le courant ne traverse pas le circuit)

$y = ax + b$

$\underbrace{V_P - V_N}_{\text{tension}} = a I + \underbrace{E}_{\text{tension}}$

Le produit aI doit être une tension. Il mesure une grandeur exprimée en Volts. Donc le coefficient a ~~est une~~ représente une résistance, la résistance interne r du générateur.

$a = -r$

On déduit que : $V_P - V_N = E - rI$

Exercice

Déterminer la f.é.m E et la résistance interne r du générateur utilisé pour établir expérimentalement la loi d'Ohm.

$E = 4,18 \simeq 4,2$

pente $\quad tg\,\alpha = \frac{y}{x} = \frac{4,2}{3,1}$

$U = E - rI$

$r = \frac{E - U}{I} = 0,16\ \Omega \qquad 1,4\ \Omega$

Problème

On dose une solution d'hydroxyde de calcium saturée au moyen d'une solution titrée d'acide chlorhydrique dont la normalité (molarité) $\frac{N}{20}$.
Le volume d'eau de chaux prélevé est de 10 ml. On il faut alors 8,0 ml de solution titrée d'acide pour neutraliser exactement les 10 ml de solution à doser. En déduire

1) le titre basique de la solution de chaux.

2) la masse de chaux dissoute par litre de solution.

On appelle molarité d'une solution : ~~mas~~ $\frac{\text{~~masse~~ nombre de mole du corps dissous}}{\text{unité de volume de sol.}}$

normalité : acide. C'est le nombre de moles de protons (H^+) que peut céder 1 litre de solution

normalité d'une solution basique : c'est le nombre de moles d'ions OH^-, contenus par litres de solution ou encore le nombre de moles H^+ que peut capter l'unité de volume de cette solution.

Titre pondéral d'une solution : C'est la masse du corps contenu dans une ~~de~~ unité de volume.

→

Solution

Exprimons le nombre de moles H^+ contenues dans $V = 8$ ml de solution acide $\frac{N}{20}$. $n = \frac{1}{20} \cdot \frac{V}{10^3} = \frac{V}{2.10^4} = \frac{V}{2} \cdot 10^{-4}$ moles H^+

qui ont été consommées par les 10 ml de solution basique.

La solution basique contient $\frac{V}{2} \cdot 10^{-4} \cdot \frac{10^3}{10} = \frac{V}{2} \cdot 10^{-2}$ mole H^+ / l

$4 . 10^{-2}$ moles H^+/l
(ou OH^-)

Soit $\frac{4}{2} \cdot 10^{-2} = 2 . 10^{-2}$ moles $Ca(OH)_2$ / l.

1,4 g / l

24 nov.

Exercice

Calculer l'énergie électrique brute libérée par une pile Leclanché pour une disparition de 1 kg de zinc. f.e.m. $E \simeq 1,5$ V

Calculer l'énergie électrique libérée par la pile à hydrogène pour une consommation de 1 kg d'hydrogène. fe.m : $E \simeq 1,3$ V

Solution proposée.

1/ Soit une pile à pôle négatif en ~~zinc~~ métal, ou autre, M.

L'électrode ~~en materiau~~ ~~en zinc~~ pèse m g. Il y a donc $\frac{m}{A}$ moles d'atomes dans cette électrode et en désignant par A la masse atomique du ~~zinc~~ métal considéré. Il y a

$\mathcal{N} \cdot \frac{m}{A}$ atomes, soit, en désignant par n la valence du métal M ~~du zinc~~ (~~n=2~~),

$\mathcal{N} \cdot \frac{m}{A} \cdot n$ électrons.

Enfin, pour une masse m du métal / du gaz, la pile débitera une quantité

$Q = \frac{m}{A} \cdot n \cdot \mathcal{N}\bar{e}$ Coulomb.

Energie brute libérée.

De $P = EI$, nous tirons $W = EQ \; \vdash \; W = E \times \frac{m}{A} \cdot n \cdot \mathcal{N}\bar{e}$

$$W = E \cdot m \cdot \frac{n}{A} \cdot \mathcal{N}\bar{e} \quad \text{(en J)}$$

$$W_{kWh} = \frac{E}{3\,600\,000} \cdot m \cdot \frac{n}{A} \cdot \mathcal{N}\bar{e} \quad \text{(en kWh).}$$

Applications numériques.

1°/ Pile Leclanché.

$E = 1,5$ V

$m = 1$ kg ou 10^3 g

$n = 2$

$A = 65,4$ g

$\mathcal{N}\bar{e} = 86\,000$ C

d'où $W_{kWh} = \frac{1,5}{3\,600\,000} \cdot 10^3 \cdot \frac{2}{65,4} \cdot 96\,500$

$W_{kWh} = \frac{1,5 \cdot 2 \cdot 965}{36 \cdot 65,4}$ (en kWh)

$$\boxed{W_{kWh} = 1,23 \text{ kWh}}$$

2°/ Pile à "hydrogène".

$E = 1,3$

$m = 1$ kg ou 10^3 g

$n = 1$

$A = 1$

$\mathcal{N}\bar{e} = 96\,500$ C

d'où $W'_{kWh} = \frac{1,3}{3\,600\,000} \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{1} \cdot 96\,500$

$W'_{kWh} = \frac{1,3 \cdot 965}{36}$

$$\boxed{W'_{kWh} = 34,9 \text{ kWh}}$$

B1 /14 p 106

1°/

E, r
\+ −
P N
I
$V_P - V_N = U$
R

La loi d'Ohm appliquée au générateur G nous donne sa résistance interne r.

$U = E - rI \;\vdash\; \boxed{r = \frac{E - U}{I}}$

Ap. numérique. Comme $E = 40\,V$, $U = 30\,V$ et $I = 10\,A$.

$$r = \frac{40 - 30}{10} = \boxed{1\,\Omega}$$

3°/

La chaleur dégagée dans le calorimètre est, en cal, $Q = m\,(\Delta\theta)$, m désignant la masse en eau (y compris le calorimètre) du calorimètre et $\Delta\theta$ la durée de passage du courant (ici, 1mn). $W = 4{,}18\,Q = 4{,}18 . m .(\Delta\theta)$ (en J). Loi de Joule : $W = R I^2 t$. d'où : $\boxed{R = \frac{W}{I^2 t} = \frac{4{,}18 . m .(\Delta\theta)}{I^2 t}}$

Application numérique $m = 500\,g$, $(\Delta\theta) = 4°C$, $t = 1\,mn$ ou $60\,s$

$$R = \frac{4{,}18 . 500 . 4}{10^2 . 60} = \boxed{1{,}39\,\Omega}$$

3°/

Par définition : $R = \rho \frac{l}{s}$ ← $\boxed{l = R \frac{s}{\rho}}$

Ap. nu. $s = \pi \frac{d^2}{4} = \pi \frac{10^{-6}}{4}$ mètres.

$$l = 1{,}39 . \frac{\pi\, 10^{-6}}{4 . 8 . 10^{-7}} = \frac{13{,}9 . \pi}{32} = \boxed{1{,}365\ m}$$

4°/

L'électrolyseur à électrodes en platine, et à solution de sulfate de cuivre $CuSO_4$, transforme effectivement de l'énergie électrique en énergie chimique. Par conséquent, outre sa résistance interne r', il possède une f.c.é.m. E' qui le caractérise. De même qu'à la 2-question nous avons successivement (pour trouver la valeur de la nouvelle intensité I' du courant).

E, r
+ −
P N
dépôt de cuivre
R
+
$CuSO_4$
E', r'

$W = m\,(\Delta\theta') . 4{,}18$ calorimètre
$W = R I'^2 t$ loi de Joule.
} ← $I' = \sqrt{\frac{4{,}18 . m\,(\Delta\theta')}{R t}}$

~~D'où~~

Alors, loi de Pouillet : $I' = \frac{E - E'}{R + r + r'}$ ← $\boxed{E' = E - I'(R + r + r')}$

E'

Ap. nu.

~~E = 40~~V Valeur de I'

$$I' = \sqrt{\frac{4,18 . 500 . 1}{1,39 . 60}} = \sqrt{\frac{418 . 50}{139 . 6}} \simeq \sqrt{25} = 5$$

$I' = 5$

Valeur de E'

$E' = E - I'(R + r + r')$

$E' = 40 - 5(1,39 + 1 + 5,3)$

$E' = 1,55$ V

Masse de cuivre déposée à la cathode

Loi de Faraday. $1 F = 96\,500$ C $\longrightarrow \frac{A}{n} = \frac{63,5}{2}$ g de Cu

$I't'$ ($t' = 1$ h) $\longrightarrow$ x g tels que

$$\frac{x}{I't'} = \frac{63,5}{2 \times 96\,500} \quad \text{d'où : } x = 5 \times 3600 . \frac{63,5}{2 . 96\,500}$$

$x = 5,92$ g de cuivre.

5°/

En appliquant successivement les lois de Pouillet, d'Ohm pour le récepteur M, et l'égalité $P' = x I_1$, en désignant par x la f.c.é.m. du moteur :

E, r ; + − ; M

{ x = f.c.é.m ; y = résistance.

$$\begin{cases} I_1 = \dfrac{E - x}{r + y} & (1) \\ I_1 = \dfrac{P'}{x} & (2) \\ U_M = x + y I_1 & (3) \end{cases}$$

d'où, en transposant (2) dans (1) et (3) :

$P'(r+y)$ $\begin{cases} \dfrac{P'}{x} = \dfrac{E - x}{r+y} \\ U_M = x + y\dfrac{P'}{x} \end{cases} \vdash \begin{cases} P'(r+y) = Ex - x^2 \\ U_M x = x^2 + y P' \end{cases}$

d'où :

(I) $\begin{cases} x^2 - Ex + P'(r+y) = 0 \\ x^2 - U_M x + yP' = 0 \end{cases} \vdash x^2 - Ex + P'r + P'y = x^2 - U_M x + yP'$ (II)

Et enfin : $x(E - U_M) = P'.r$ d'où $\boxed{x = \dfrac{P'.r}{E - U_M}}$

Application numérique

$P' = 250$ W ; $r = 1\,\Omega$; $E = 40$ V ; $U_M = 30$ V , alors :

$$x = \frac{250 . 1}{40 - 30} = 25 \text{ V}$$

Alors (II) : $y = \dfrac{U_M x - x^2}{P'} = \dfrac{30.25 - 625}{250} = \dfrac{125}{250} = \dfrac{25}{50} = \dfrac{1}{2} = 0,5\,\Omega.$

Donc $\boxed{x = 25\text{ V} \; ; \; y = 0,5\,\Omega}$

TP

Vérification expérimentale de la loi de Pouillet.

But : On va vérifier cette loi pour un circuit comprenant 1 générateur (E, r) et une résistance R.

$$I = \frac{E}{R + r}$$

Montage expérimental.

Schéma.

La résistance R est celle d'une boite de résistances étalonnée.

Méthode

$$I = \frac{E}{R+r} \quad \text{d'où} \quad \frac{1}{I} = \frac{R+r}{E}$$

$$\frac{1}{I} = \frac{R}{E} + \frac{r}{E}$$

On va donner à R une série de valeurs connues et l'on mesurera les intensités correspondantes.

Puis on construira un graphe à l'aide de ces valeurs.

R étant la variable, la fonction de la loi de Pouillet est de la forme

$y = \frac{a}{x + b}$. C'est donc une fonction homographique. La courbe

représentative est une hyperbole. Une telle courbe n'est pas facilement

identifiable. Inversons cette fonction $\frac{1}{I} = \frac{1}{E} R + \frac{r}{E}$. C'est une

fonction de la forme $y = ax + b$.

$\frac{1}{I} = y$, $a = \frac{1}{E}$, $b = \frac{r}{E}$

R Ω	I 10^{-3} A	$\frac{1}{I}$ 10^{-3}
0	~~0,0~~50	0,02
2	46	0,0218
5	41	0,0244
10	34	0,0294
15	30	0,0334
20	26	0,0385
30	21	0,0476
40	18	0,0555
50	15	0,0667
100	9	0,111

~~Résultats~~

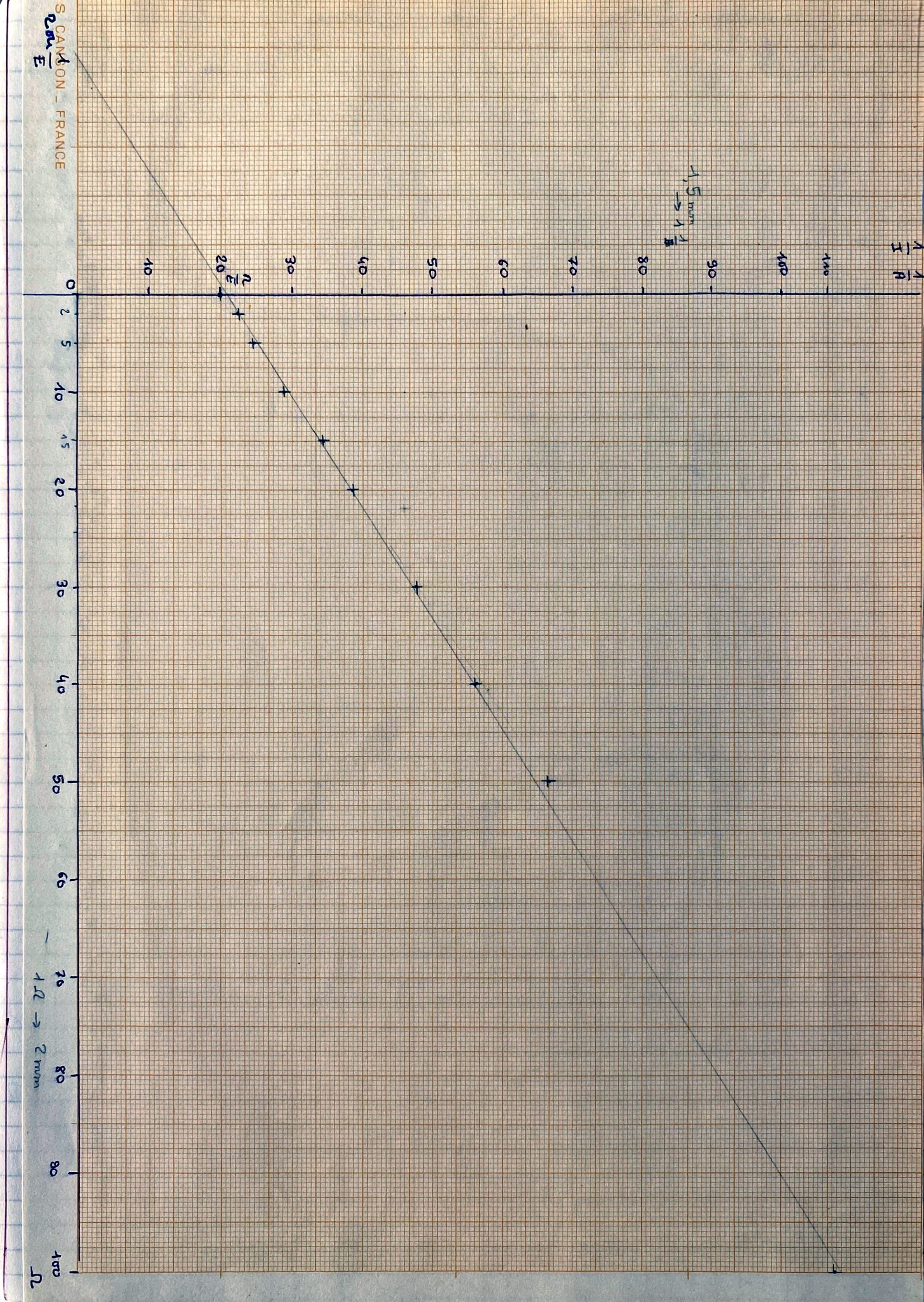
Résultats.

Les points obtenus sont alignés. Donc le graphe est une droite. La loi de Pouillet est donc vérifiée.

Signification des intersections avec les axes : On trouve $r = |-23,5| = 23,5\,\Omega$

On va retrancher la résistance interne de l'ampèremètre. Pour le calibre utilisé, c'est $10\,\Omega$. $r = 13,5\,\Omega$

$\frac{23,5}{E} = 20$ ← $E = 1,17$ V



Problème.

Un générateur de f.é.m $E = 12\,V$ et de résistance interne $r = 0,1\,\Omega$ est relié aux bornes d'un moteur électrique de résistance interne $r' = 5.10^{-2}\,\Omega$. La puissance mécanique fournie par ce moteur étant de 180 W pour $I = 20\,A$, calculer E', les d.d.p. aux bornes du générateur et du récepteur.

2°/ Le moteur est calé, quelle est alors l'intensité de courant dans le circuit.

3°/ Etablir la relation donnant la puissance mécanique P' fournie par le moteur en fonction de E, de I et de la résistance totale ΣR du circuit ($\Sigma R = r + r'$)

4°/ E et ΣR étant des constantes du circuit, la puissance du circuit dépend alors de I. Etudier la variation de P' en fonction de I.. Ecrire l'expression de la puissance mécanique P'_{Max} que peut fournir le moteur. Quelle est alors sa f.é.m. E'.

Solution.

1°/

$P' = E'I \vdash \quad E' = \frac{P'}{I} = \frac{180}{20} = 9\,V$

$U_{PN} = E - rI = 12 - 2 = 10\,V$

$U_{M} = ~~E' + r'I~~ = ~~9~~ + U_{PN}$

2°/

$P' = 0 \vdash$ · ~~$U_M = 5r$~~ loi de Pouillet $I' = \frac{E}{r + r'} = \frac{12}{0,15} = 80\,A$

3°/ $P_G = P' + RI^2$

$P' = EI - RI^2$

4°/ $y = ax^2 + bx + c$

E, r
+ −
P N
M
A B I
E', r'

Problèmes proposés.

B1/8 p 105

1°/

A —/\/\/\/\— B, R

Soit U la d.d.p entre les points A et B. La loi d'Ohm donne : $U = RI$, en désignant par I l'intensité du courant traversant la portion de fil AB.

Nous tirons $R = \frac{U}{I}$. D'autre part, en désignant par ρ la résistivité du fil utilisé, par l sa longueur et par s sa section, nous avons :

$R = \rho \frac{l}{s}$ d'où $\rho = R \frac{s}{l}$

Application numérique

$U = 120 V$ d'où $R = \frac{120}{16} = 7,5\ \Omega$ et $\rho = 5.10^{-7}\ \Omega.m$.

$I = 16\ A$

$l = 3\ m$; $s = 0,2\ mm^2$ ou $2.10^{-7} m^2$

2°/ a)

La puissance P consommée par le moteur en fonctionnement normal est égale au produit de la d.d.p. U_M aux bornes de celui-ci par l'intensité i qui le traverse : $P = U_M i$

Nous tirons : $i = \frac{P}{U_M}$. Appliquons alors la loi d'Ohm pour ce moteur ayant une f.c.é.m E' et une résistance interne r' : $U_M = E' + r'i$

d'où $E' = U_M - r'i$

Application numérique.

$P = 480\ W$ $r' = 5\ \Omega$ alors $i = \frac{480}{120} = 4\ A$, donc $E' = 120 - 5.4 = 100 V$

$U_M = 120 V$ $E' = 100 V$

b)

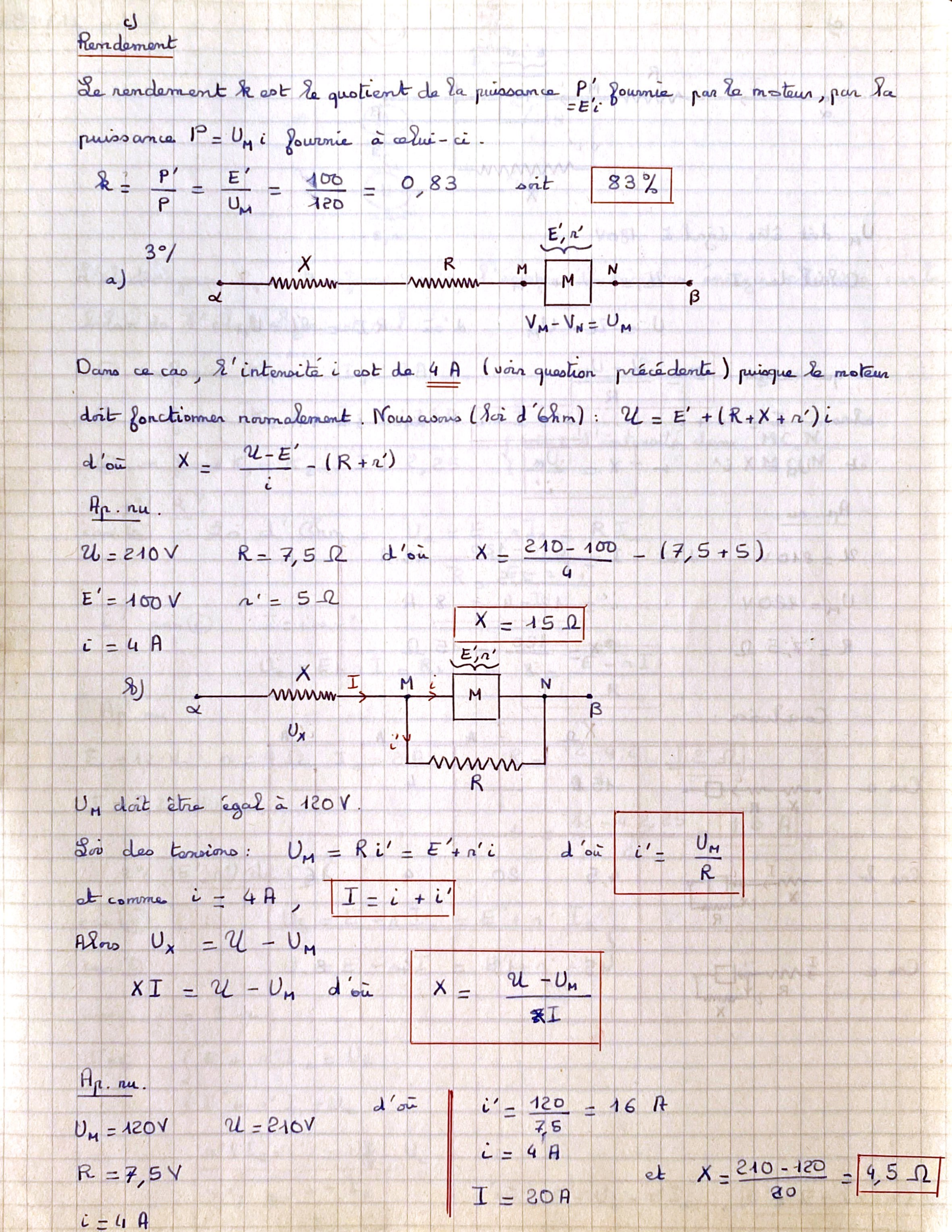
Calcul de la puissance mécanique fournie par ce moteur.

Par définition, $P' = E'i$

Application numérique.

$E' = 100 V$ d'où $P' = 100.4 = 400\ W$

$i = 4\ A$



c)

Rendement

Le rendement ρ est le quotient de la puissance $P' = E'i$ fournie par le moteur, par la puissance $P = U_M i$ fournie à celui-ci.

$$\rho = \frac{P'}{P} = \frac{E'}{U_M} = \frac{100}{120} = 0,83 \quad \text{soit} \quad \boxed{83\%}$$

3°/

a)

Dans ce cas, l'intensité i est de 4 A (voir question précédente) puisque le moteur doit fonctionner normalement. Nous avons (loi d'Ohm) : $\mathcal{U} = E' + (R + X + r')i$

d'où $X = \dfrac{\mathcal{U} - E'}{i} - (R + r')$

Ap. nu.

$\mathcal{U} = 210\,V$ $\quad R = 7,5\,\Omega$ $\quad$ d'où $\quad X = \dfrac{210 - 100}{4} - (7,5 + 5)$

$E' = 100\,V$ $\quad r' = 5\,\Omega$

$i = 4\,A$

$$\boxed{X = 15\,\Omega}$$

b)

U_M doit être égal à 120 V.

Loi des tensions : $U_M = R i' = E' + r'i$ $\quad$ d'où $\quad \boxed{i' = \dfrac{U_M}{R}}$

et comme $i = 4\,A$, $\quad \boxed{I = i + i'}$

Alors $U_X = \mathcal{U} - U_M$

$XI = \mathcal{U} - U_M$ $\quad$ d'où $\quad \boxed{X = \dfrac{\mathcal{U} - U_M}{I}}$

Ap. nu.

$U_M = 120\,V$ $\quad \mathcal{U} = 210\,V$

$R = 7,5\,V$

$i = 4\,A$

d'où

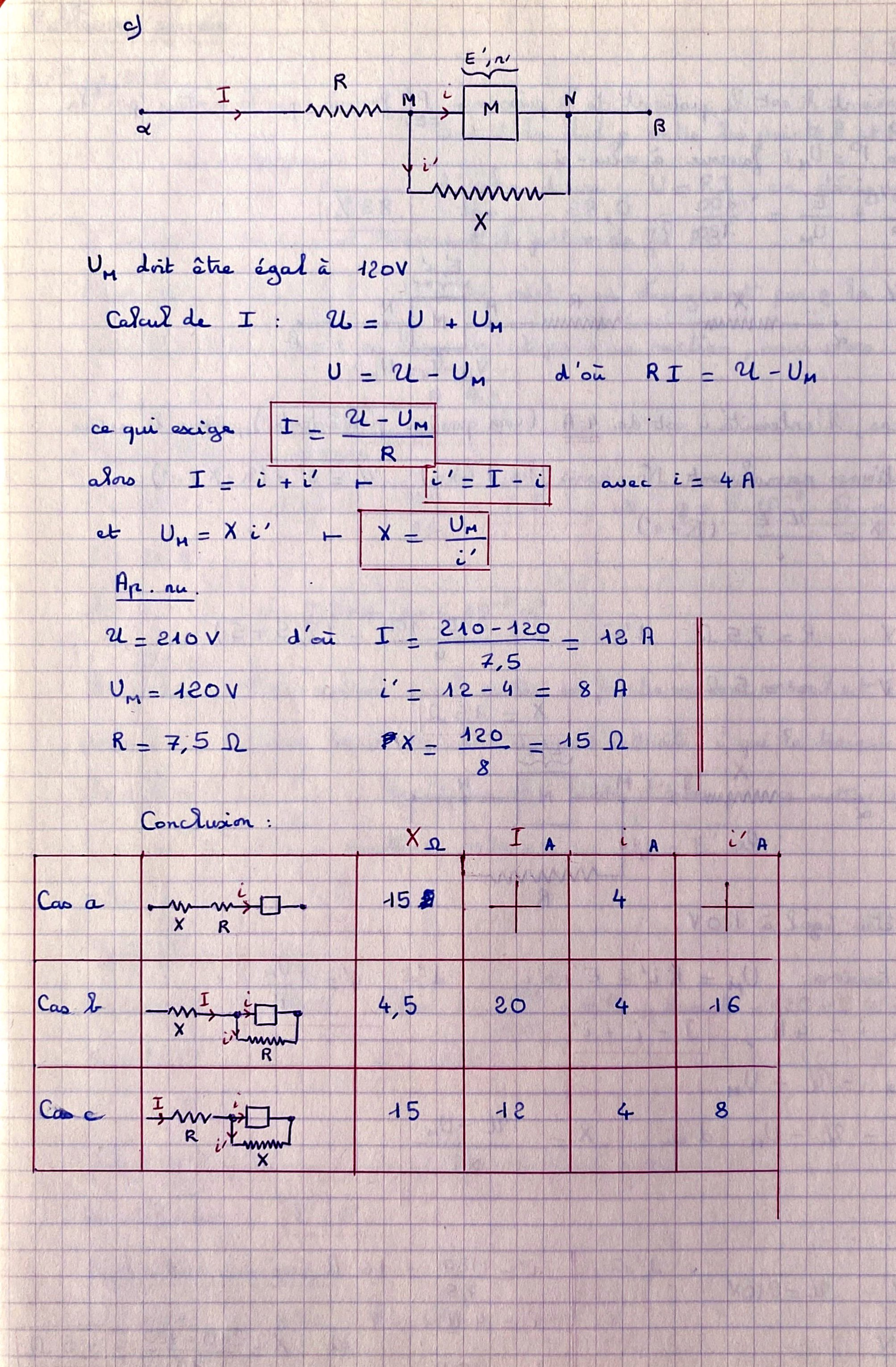
$i' = \dfrac{120}{7,5} = 16\,A$

$i = 4\,A$

$I = 20\,A$

et $X = \dfrac{210 - 120}{20} = \boxed{4,5\,\Omega}$

c)



U_M doit être égal à 120V

Calcul de I : $\mathcal{U} = U + U_M$

$U = \mathcal{U} - U_M$ d'où $RI = \mathcal{U} - U_M$

ce qui exige $\boxed{I = \dfrac{\mathcal{U} - U_M}{R}}$

alors $I = i + i'$ ⊢ $\boxed{i' = I - i}$ avec $i = 4\,A$

et $U_M = X\,i'$ ⊢ $\boxed{X = \dfrac{U_M}{i'}}$

Ap. nu.

$\mathcal{U} = 210\,V$ d'où $I = \dfrac{210 - 120}{7,5} = 12\,A$

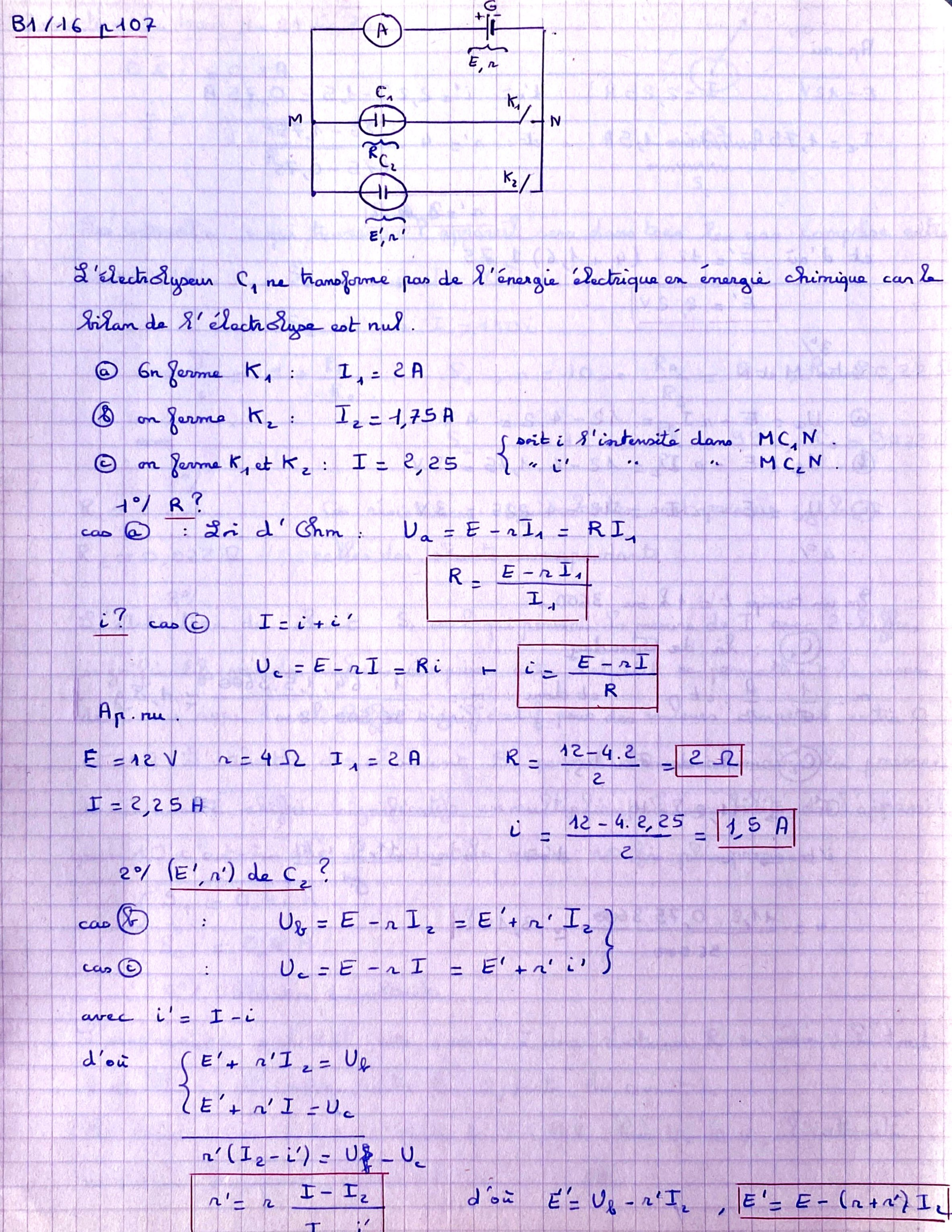
$U_M = 120\,V$ $i' = 12 - 4 = 8\,A$

$R = 7,5\,\Omega$ $X = \dfrac{120}{8} = 15\,\Omega$

Conclusion :

		X Ω	I A	i A	i' A
Cas a	X R i	15	+	4	+
Cas b	X I i i' R	4,5	20	4	16
Cas c	I R i i' X	15	12	4	8

B1/16 p107



L'électrolyseur C_1 ne transforme pas de l'énergie électrique en énergie chimique car le bilan de l'électrolyse est nul.

ⓐ On ferme K_1 : $I_1 = 2\,A$

ⓑ on ferme K_2 : $I_2 = 1{,}75\,A$

ⓒ on ferme K_1 et K_2 : $I = 2{,}25$

soit i l'intensité dans MC_1N.
" i' " " MC_2N.

1°/ R ?

cas ⓐ : Loi d'Ohm : $U_a = E - rI_1 = RI_1$

$$R = \frac{E - rI_1}{I_1}$$

i ? cas ⓒ $I = i + i'$

$U_c = E - rI = Ri$ ⊢ $i = \frac{E - rI}{R}$

Ap. nu.

$E = 12\,V$ $r = 4\,\Omega$ $I_1 = 2\,A$ $R = \frac{12 - 4.2}{2} = 2\,\Omega$

$I = 2{,}25\,A$

$i = \frac{12 - 4.2{,}25}{2} = 1{,}5\,A$

2°/ (E', r') de C_2 ?

cas ⓑ : $U_b = E - rI_2 = E' + r'I_2$

cas ⓒ : $U_c = E - rI = E' + r'i'$

avec $i' = I - i$

d'où
$$\begin{cases} E' + r'I_2 = U_b \\ E' + r'I = U_c \end{cases}$$

$r'(I_2 - i') = U_b - U_c$

$$r' = r\,\frac{I - I_2}{I - i'}$$

d'où $E' = U_b - r'I_2$, $E' = E - (r + r')I_2$

Ap. nu.

$E = 12\,V$ $\qquad I = 2,25\,A$ $\qquad$ d'où $i' = 2,25 - 1,5 = 0,75\,A$

$I_2 = 1,75\,A$ $\qquad i = 1,5\,A$ $\qquad$ et : $r' = 4\,\dfrac{2,25 - 1,75}{1,75 - 0,75}$

$$\boxed{r' = 1,6\ \Omega}$$

et d'où $E' = 12 - (4 + 1,6)\,1,75$

$$\boxed{E' = 2,2\,V}$$

3°/

Entre M et N

(a) $U_a = E - rI_1 = 12 - 4.2 = 4\,V$

(b) $U_b = E - rI_2 = 12 - 4.1,75 = 5\,V$

(c) $U_c = E - rI = 12 - 4.2,25 = 3\,V$

4°/

En un temps $t = 1\,h$ ou $3600\,s$

(C_1) : loi de Faraday

$m = \dfrac{1}{F}\cdot\dfrac{A}{n}\cdot it$ $\qquad$ et donc : $m = \dfrac{1.64.1,5.3600}{96\,500.2} \simeq 1,8\,g.$

(C_2) : loi de Faraday.

$F \longrightarrow 11,2\,l\ H_2$

$i't \longrightarrow v$ $\qquad$ d'où $\quad v = \dfrac{11,2.i't}{F}$

$v = \dfrac{11,2.0,75.3600}{96\,500} \simeq 3,14\,l$

Correction du devoir du 21 déc 73

$0 \leq i \leq 0,1 A$

$\frac{i}{I} = \frac{1}{1 + \frac{R_i}{R_s}}$

L'intensité i qui traversera l'appareil sera dans tous les cas comprise entre 0 et 0,1 A.

$S_1 \quad i \longrightarrow I = 10 i$

$S_2 \quad i \longrightarrow I = 100 i$

$n = \frac{I}{i} = 1 + \frac{R_A}{R_s}$ $\quad S_1 , n = 10 \rightarrow \frac{R_A}{R_S} = 9 , R_s = 0,22 \Omega$

$S_2 , n = 11 \Rightarrow \frac{R_A}{R_s} = 99 , R_s = 0,022 \Omega$

2°)

$R_1 \simeq 0,2 \Omega$ Ces résistances équivalentes sont presque égales à

$R_2 \simeq 0,022 \Omega$. celles des shunts correspondants.

3°)

L'utilisation du shunt S_2 seul qui permet la mesure de I avec 2 chiffres significatifs pour des valeurs comprises entre 1 et 10 A ne permettrait la mesure de I qu'avec 1 seul chiffre significatif pour des valeurs comprises entre 0 et 1 A. L'utilisation du shunt S_1 permet dans ce domaine la mesure de I avec 2 chiffres significatifs en multipliant la sensibilité de l'appareil par 10, c'est-à-dire en rendant la mesure 10 fois plus précise.

$\begin{cases} S_1 = 0,42 A \\ S_2 = 0,4 A. \end{cases}$

4°) Utilisation en voltmètre.

L'ampèremètre seul doit être associé à une résistance R en série, le tout branché en dérivation entre les 2 points du circuit.

Le domaine des d.d.p. s'étendra de 0 à 10 V. Pour U = 10 V, l'intensité maximale traversant l'appareil sera i = 0,1 A

Si $U_{AB} = 1\,V$, $i = \frac{i_m}{10} = 10^{-2}\,A$.

$1 = (2 + R_x)\,10^{-2}$.

$\boxed{R_x = 98\ \Omega}$.

5°/

On remarque cette résistance est nettement plus faible que celle des voltmètres courants, la validité de la mesure des d.d.p sera limitée à un domaine de valeurs de l'intensité I que nous pouvons aisément déterminer : admettons que $I \geqslant 100\, i_m$ pour que l'on puisse négliger i. Le domaine des valeurs acceptables de I est $I \geqslant 10\,A$.

La modification de R_x n'a pour conséquence que l'étalonnage de l'appareil et son domaine d'emploi dans la mesure des d.d.p. mais n'influe pas sur la validité de la mesure qui est toujours déterminé par $I \geqslant 10\,A$.

Pour étendre le domaine de validité des mesures à des valeurs de $I < 10\,A$, il faut diminuer la valeur de i pour une même déviation de l'aiguille, c'est-à-dire augmenter la sensibilité propre de l'appareil.

Pour un ampèremètre 50 fois plus sensible, i est 50 fois plus petite et pour une même valeur de U à mesurer, on en déduit que la résistance totale du voltmètre doit être 50 fois plus grande ($\simeq 5000\ \Omega$), ce qui correspond bien aux valeurs habituelles.

Problème II

1°/ On remarque que l'oxyde d'argent sera réduit, ce qui électroniquement équivaut à capter des électrons. Donc l'électrode d'argent constitue l'électrode + de la pile.

⊕ $AgO + H_2O + 2e^- \rightarrow Ag + 2OH^-$
⊖ $Zn + 4OH^- \rightarrow Zn(OH)_4^{--} + 2e^-$
(On aurait pu faire intervenir les ions H^+)

$AgO + Zn + H_2O + 2OH^- \rightarrow Ag + Zn(OH)_4^{--}$

Le passage de 1 F par l'accumulateur consomme 1 valence-mole de zinc.

$1F \mapsto \frac{A}{n} = \frac{65}{2} = 32,5\ g$

$Q_D \mapsto 10^3\ g$

d'où $Q_D = \frac{9,65.10^4.10^3}{32,5}$

$Q_D = It$ ($1A$, $1h$). L'ampère-heure est une quantité d'électricité correspondant au passage d'un courant de 1 A pendant une durée de 1 heure.

$1\ Ah = 3600\ C$

d'où $Q_D = 820\ Ah$.

La consommation correspondante ~~d'ox~~ de monoxyde d'argent est de 1 mole AgO pour 1 mole Zn. $m = 1,9\ kg\ AgO$

3°/
Quantité de chaleur dégagée par la combustion de 1 kg de zinc :

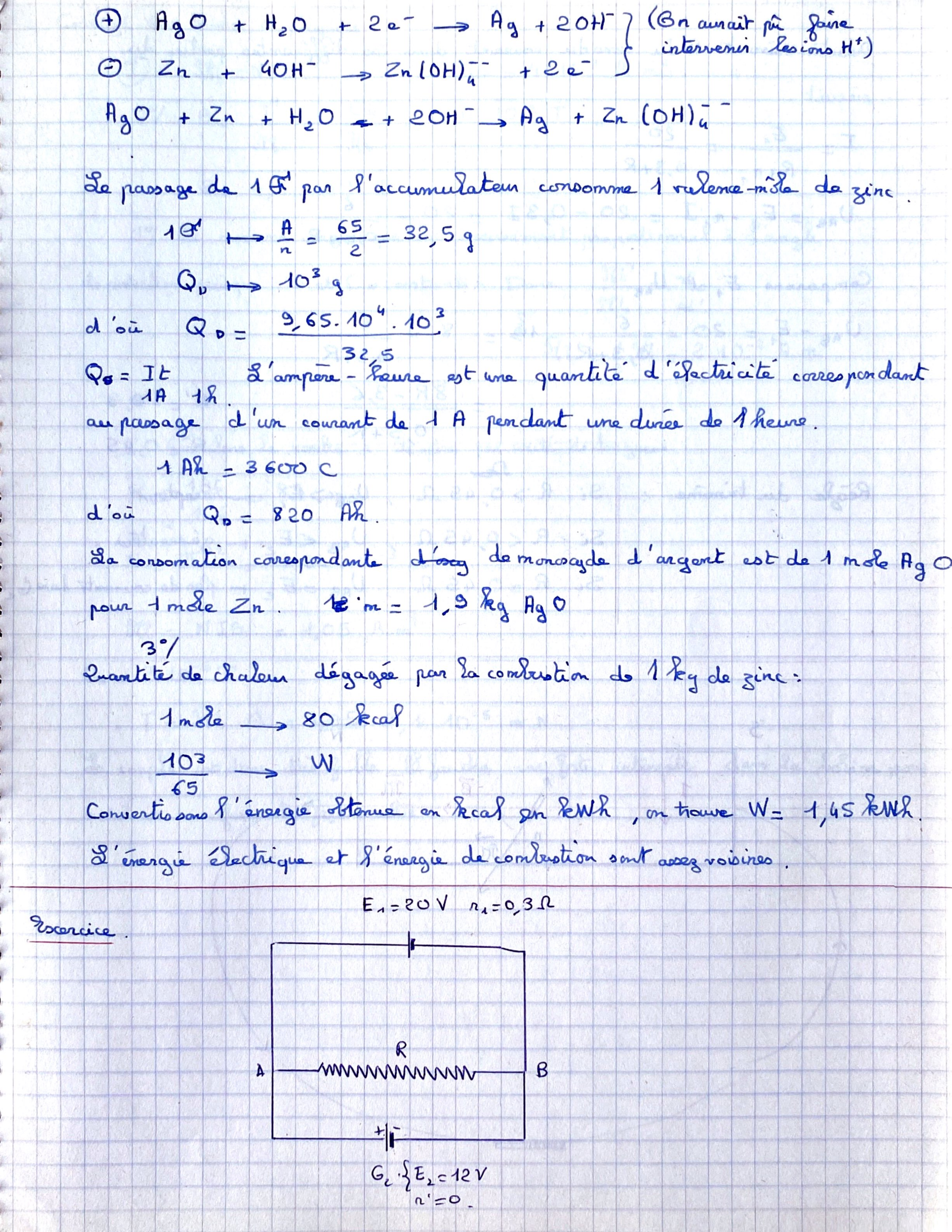
$1\ mole \rightarrow 80\ kcal$

$\frac{10^3}{65} \rightarrow W$

Convertissons l'énergie obtenue en kcal en kWh, on trouve $W = 1,45\ kWh$.

L'énergie électrique et l'énergie de combustion sont assez voisines.

Exercice.



Discuter suivant R du sens du courant dans les différentes parties du circuit.

$$I = \frac{E_1}{R + r_1} = \frac{20}{0,3 + R}$$

$$U_{AB} = E_1 - r_1 I = 20 - 0,3 I = 20 - \frac{6}{0,3 + R}$$

Comparons E_1 et U_{AB}.

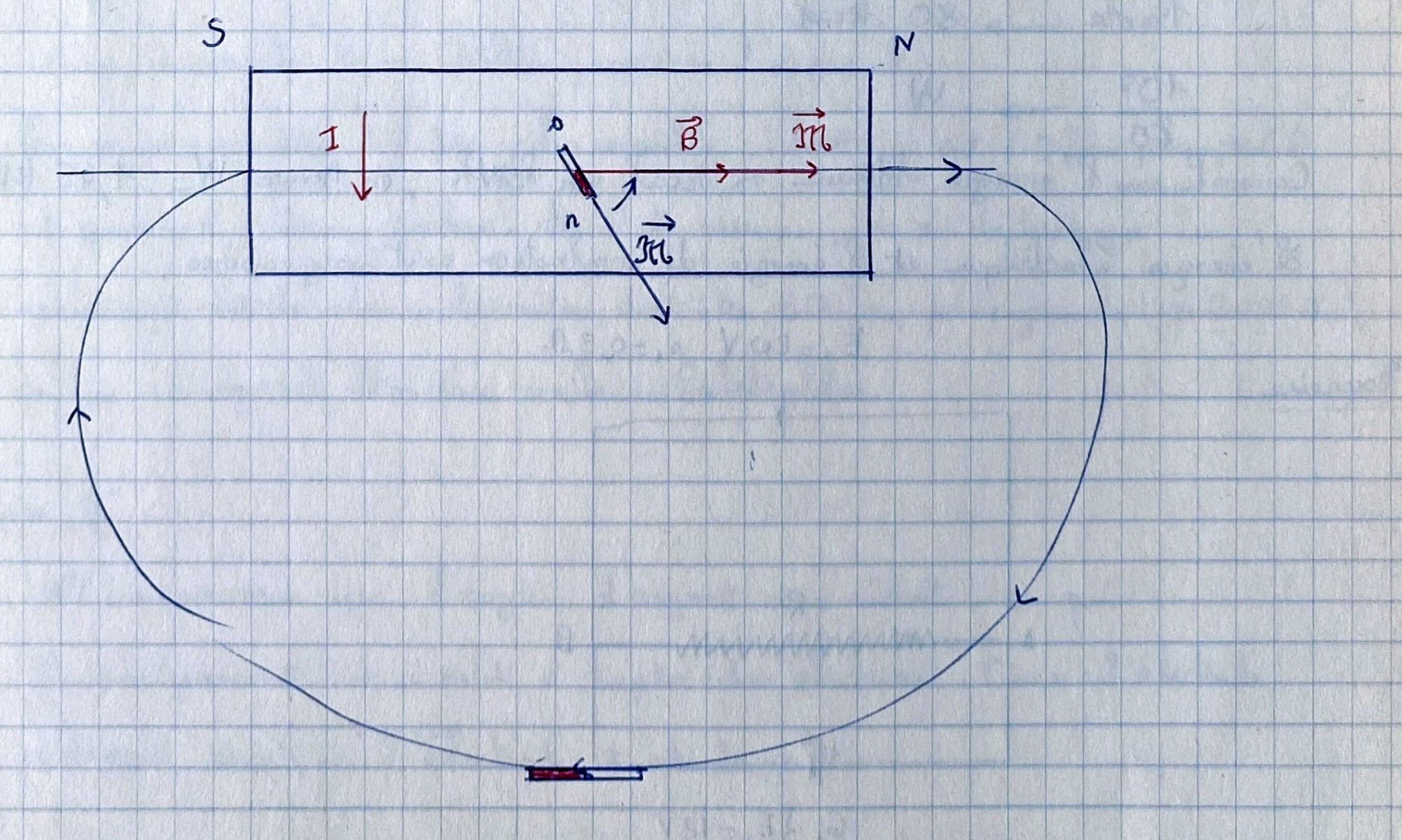
$$U_{AB} - E_1 = 20 - \frac{6}{0,3+R} - 12 = 8 - \frac{6}{0,3+R}$$

$$= \frac{8R - 3,6}{0,3+R}$$

$R' = -0,3$

$R'' = 0,45$

Règle du trinôme :
- Si $R > 0,45\ \Omega$, $U_{AB} > E_2$ → récepteur.
- Si $R < 0,45\ \Omega$, $U_{AB} < E_2$ → générateur.
- Si $R = 0,45\ \Omega$, $U_{AB} = E_2$ → pas de courants dans G_2



Corrigé du devoir de physique.

(I) $\mathcal{M} = NSI$ $\mathcal{M} = 4.10^{-2}$ A.m²

2°/ $B = \frac{\Gamma}{\mathcal{M}} = \frac{C\alpha}{\mathcal{M}} = 4,4.10^{-2}$ T

$B = 4,4.10^{-2}$ T

3°/ Le moment magnétique est inversement proportionnel à l'angle de rotation puisque B et C constants. Donc $\frac{\mathcal{M}'}{\mathcal{M}} = \frac{\alpha}{\alpha'}$

$\mathcal{M}' = \frac{1}{2}\mathcal{M} = 2.10^{-2}$ A.m²

~~4~~

II ~~Calculons le nombre n de spires par unité de longueur.~~

$N = \frac{136}{1,6} = 85$ spires

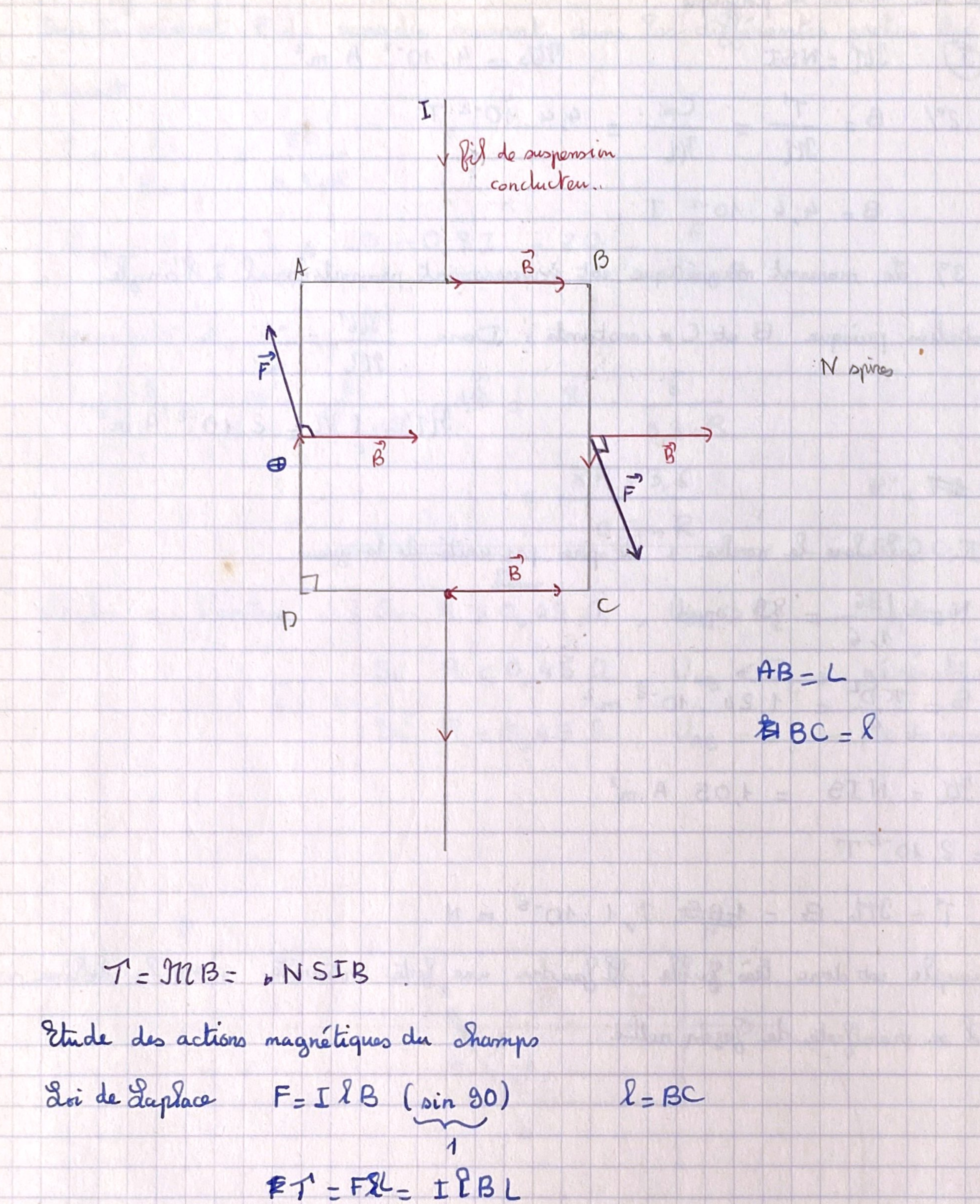
$S = \frac{\pi D^2}{4} = 1,24.10^{-3}$ m²

$\mathcal{M} = NIS = 1,05$ A.m²

$B_0 = 2.10^{-5}$ T

$\Gamma = \mathcal{M}.B =$ ~~1,05~~ $2,1.10^{-5}$ m.N.

Le couple est donc très faible. Il faudra une forte intensité dans la bobine pour qu'il se manifeste de façon nette.



$\Gamma = \mathcal{M}B = NSIB$

Etude des actions magnétiques du champs

Loi de Laplace $\quad F = I\ell B \underbrace{(\sin 90)}_{1}$ $\quad \ell = BC$

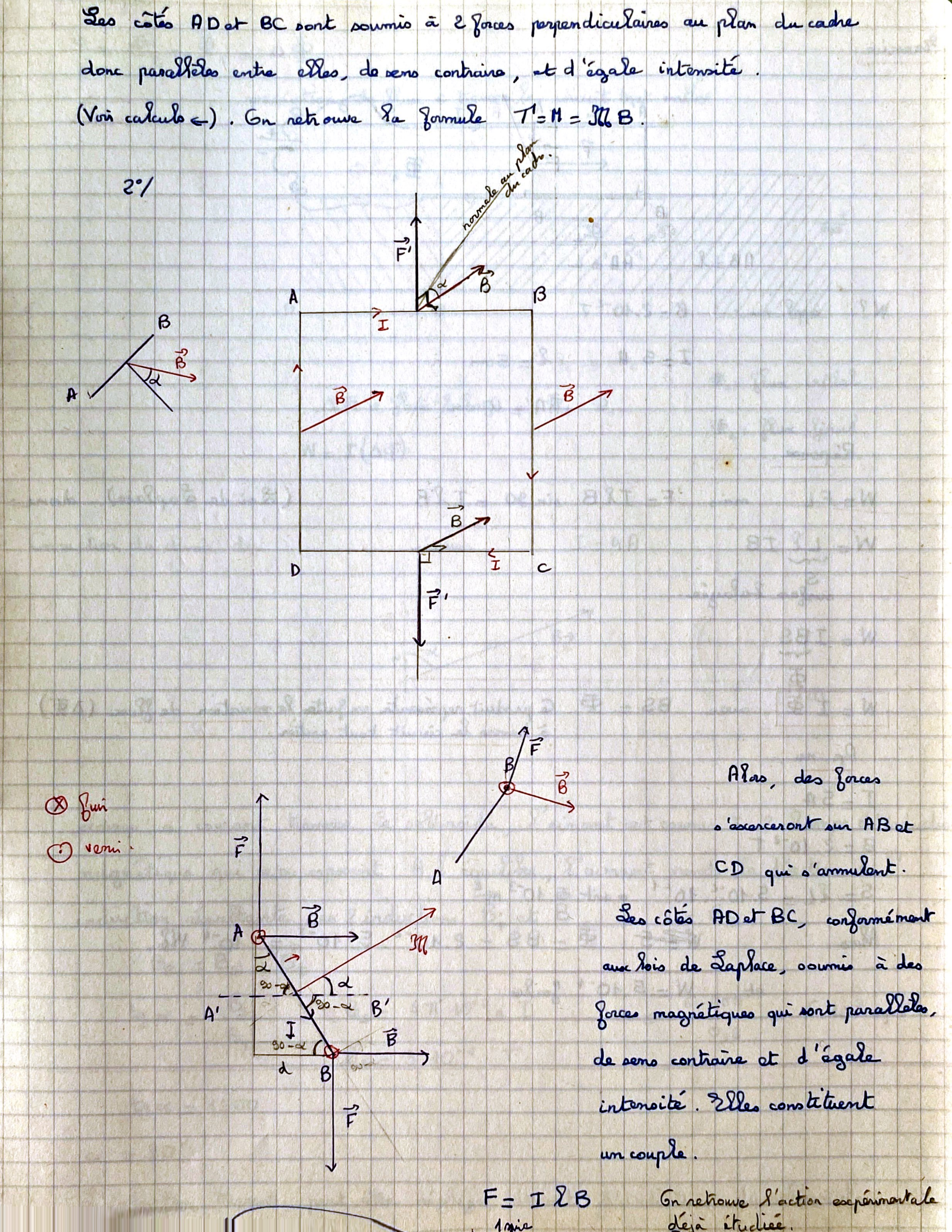
$\Gamma = FL = I\ell BL$

et pour N spires $\quad \Gamma = NI\ell LB$

$\Gamma = M : \quad M = NISB = \mathcal{M}B$

Les côtés AD et BC sont soumis à 2 forces perpendiculaires au plan du cadre donc parallèles entre elles, de sens contraire, et d'égale intensité. (Voir calculs ←). On retrouve la formule $\Gamma = M = \mathfrak{M} B$.

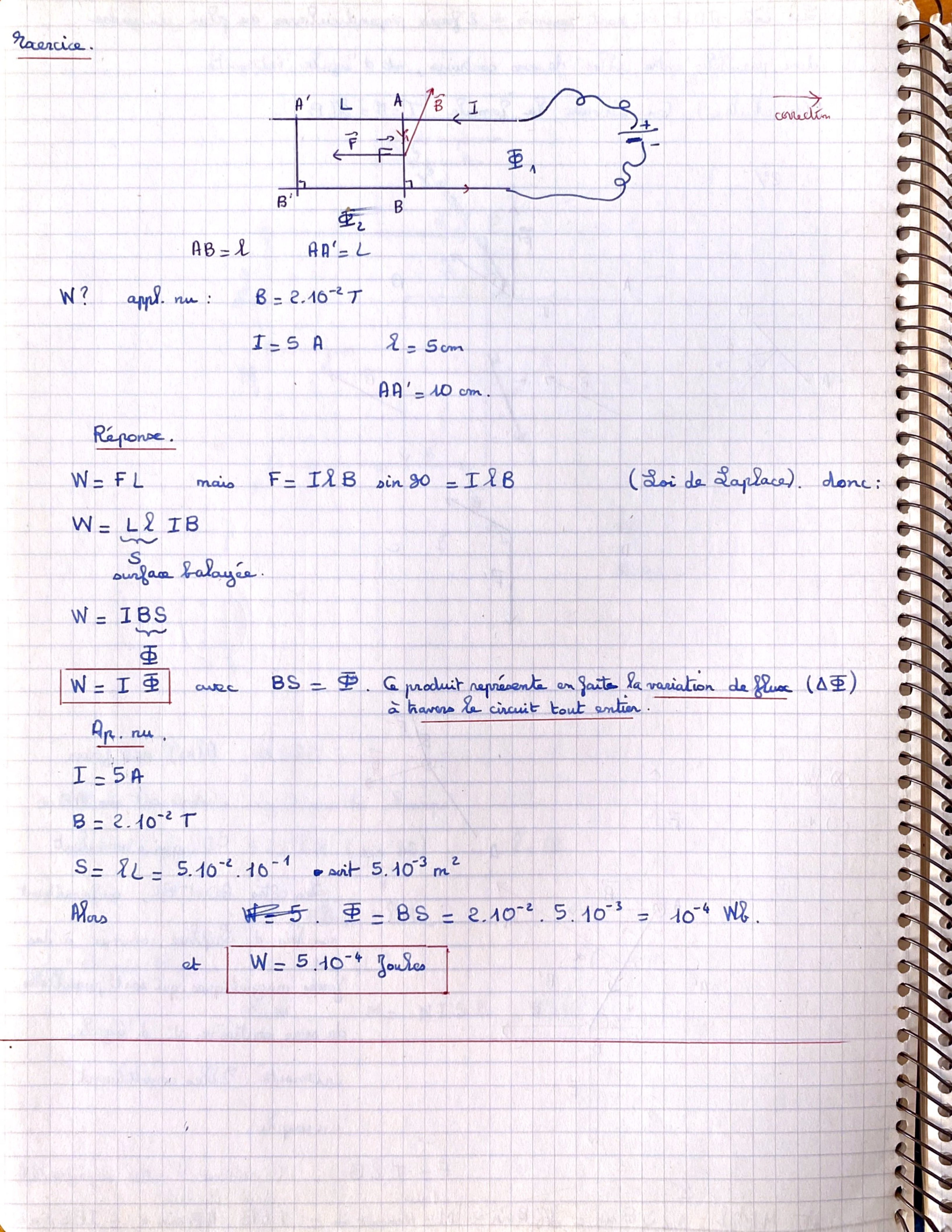
2°/



Alors, des forces s'exerceront sur AB et CD qui s'annulent.

Les côtés AD et BC, conformément aux lois de Laplace, soumis à des forces magnétiques qui sont parallèles, de sens contraire et d'égale intensité. Elles constituent un couple.

$F = I l B$ On retrouve l'action expérimentale déjà étudiée.



Exercice.

correction

$AB = \ell$ $\quad$ $AA' = L$

W? $\quad$ appl. nu : $\quad B = 2.10^{-2}\,T$

$I = 5\,A \qquad \ell = 5\,cm$

$AA' = 10\,cm.$

Réponse.

$W = FL$ mais $F = I\ell B \sin 90 = I\ell B$ (Loi de Laplace). donc :

$W = \underbrace{L\ell}_{S} IB$

S surface balayée.

$W = I\underbrace{BS}_{\Phi}$

$$\boxed{W = I\,\Phi}$$ avec $BS = \Phi$. Ce produit représente en fait la variation de flux ($\Delta\Phi$) à travers le circuit tout entier.

Ap. nu.

$I = 5\,A$

$B = 2.10^{-2}\,T$

$S = \ell L = 5.10^{-2}.10^{-1}$ soit $5.10^{-3}\,m^2$

Alors ~~W = 5~~. $\Phi = BS = 2.10^{-2}.5.10^{-3} = 10^{-4}\,Wb$.

et $$\boxed{W = 5.10^{-4}\ \text{Joules}}$$

$\varphi = \Phi_2 - \Phi_1 = \Delta\Phi$

variation de flux à travers le circuit tout entier

$\Delta\Phi$ = flux balayé = $\Phi_2 - \Phi_1$

Φ_1 : flux initial.

Φ_2 : flux final.

$W = I(\Delta\Phi)$

Correction du devoir du

$I = 4\,A$.

Lorsqu'un courant traverse le solénoïde, l'aimant est soumis à 2 champs d'induction magnétique qui se superposent. A l'équilibre, l'aimant prend la direction de l'induction résultante des 2 inductions $\vec{B}_T$ et $\vec{B}_S$ qui est $\vec{B}_R$

$$\vec{B}_R = \vec{B}_S + \vec{B}_T$$

$$tg\,\alpha = \frac{B_S}{B_T} \qquad B_S = 4\pi\, 10^{-7}\, n\, I \qquad n = \frac{6.200}{0,2} = 6.10^3\ sp/m.$$

$$B_S = 3.10^{-2}\ T$$

$$tg\,\alpha = 1500$$

$$\alpha \simeq 90°$$

L'induction terrestre peut être négligée devant l'induction du solénoïde.

2°/

A l'équilibre, le couple magnétique s'exerçant sur l'aimant est égal au couple de torsion du fil (en valeur absolue).

$$\Gamma = \mathcal{M} B \sin \beta = C\alpha$$

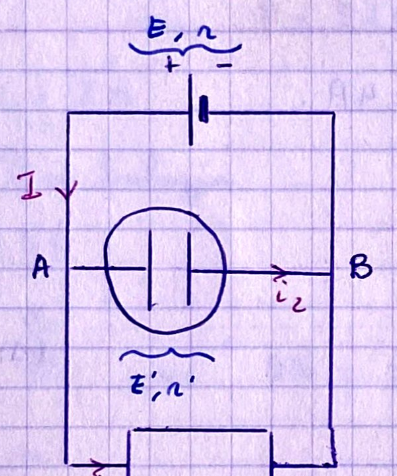
$$\alpha = \beta = 45°$$

$$\mathcal{M} B \sin\alpha = C\alpha$$

$$\mathcal{M} = \frac{C\alpha}{B \sin\alpha} = \frac{8.10^{-7} \cdot 0,8}{3.10^{-7} \cdot 0,7} = 3\ A.m^2.$$

3°/

Il faut calculer la nouvelle valeur de l'intensité i_1 dans le solénoïde.



R : solénoïde résistance.

Soit i_2 l'intensité traversant le récepteur, I étant l'intensité du courant principal. Les lois d'Ohm appliquées aux différentes portions de ce circuit nous donne les équations suivantes

$$(I)\begin{cases} U = E - rI = E' + r' i_2 = R\, i_1 \\ I = i_1 + i_2 \end{cases}$$

L'inconnue R s'obtient à partir de la question 1-.

Loi de Pouillet : $R = \dfrac{E}{I'} - r = 2\,\Omega$

Alors : (I) :

$$E - rI = R\, i_1 \qquad \begin{cases} 12 - I = 2 i_1 \\ 2 + 2 i_2 = 2 i_1 \end{cases}$$

$$E' + r' i_2 = R\, i_1$$

$$\begin{cases} 12 - i_1 - i_2 = 2 i_1 \\ 12 - i_2 = 3 i_1 \end{cases}$$

$$i_1 = 3,25\ A$$

~~On peut alors calculer~~

Soit β la nouvelle valeur de α correspondant à cette nouvelle intensité.

$$\underbrace{\mathfrak{M}}_{\text{constant}}\ B' \sin(90-\beta) = C\beta$$

$$\mathfrak{M}\ B \sin\alpha = C\alpha$$

Le rapport des 2 conditions d'équilibre est :

$$\frac{B'}{\beta}\,\frac{\sin(90-\beta)}{\sin\alpha} = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

$$\frac{B'}{B} = \frac{I'}{I} \rightarrow \text{nouvelle intensité.}$$

α' et β' sont complémentaires.

$$\frac{\alpha'}{\cos\alpha'} = \frac{I'}{I}\,\frac{\alpha}{\underset{(\sin\alpha)}{\cos\alpha}} = \frac{45}{0,7}\cdot\frac{3,25}{4}$$

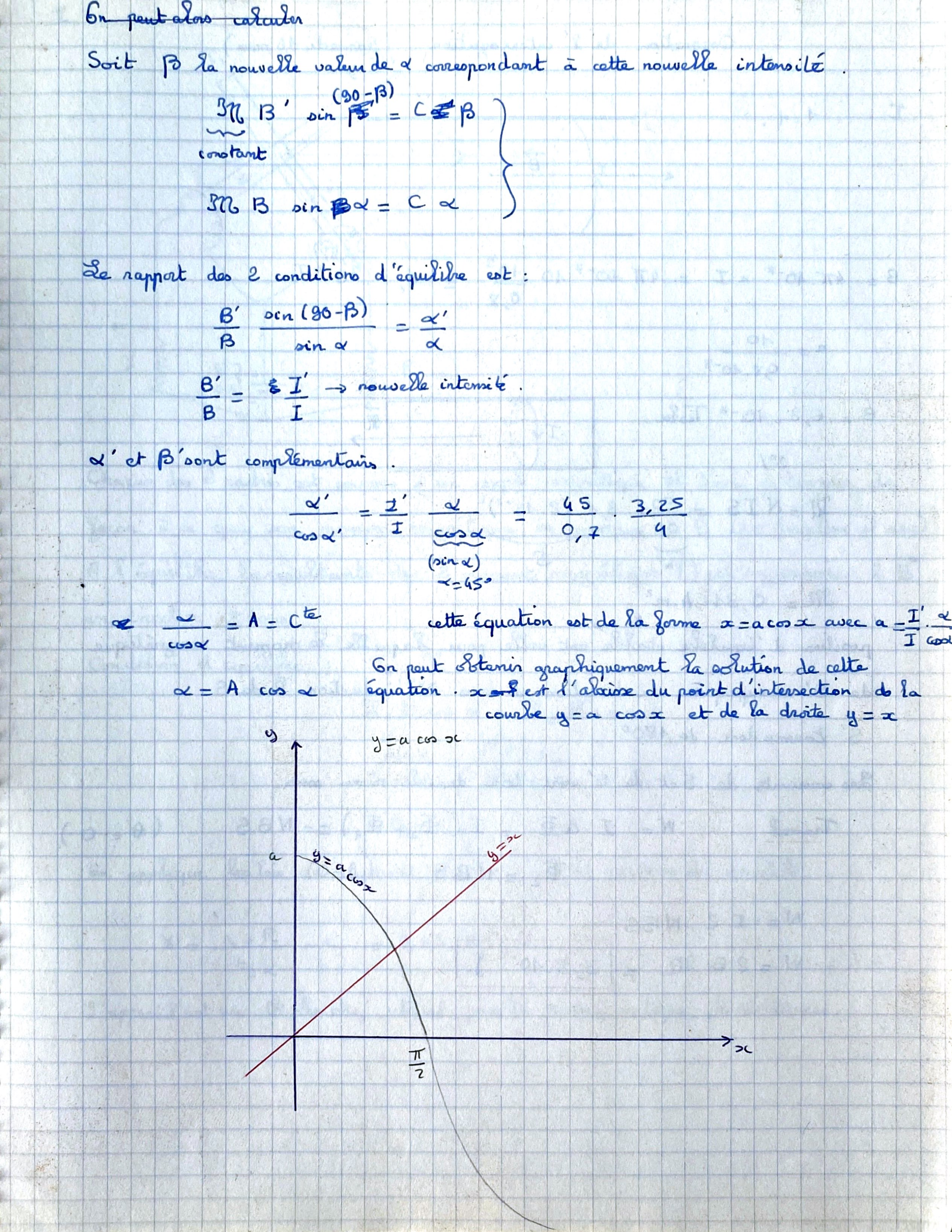
$\alpha = 45°$

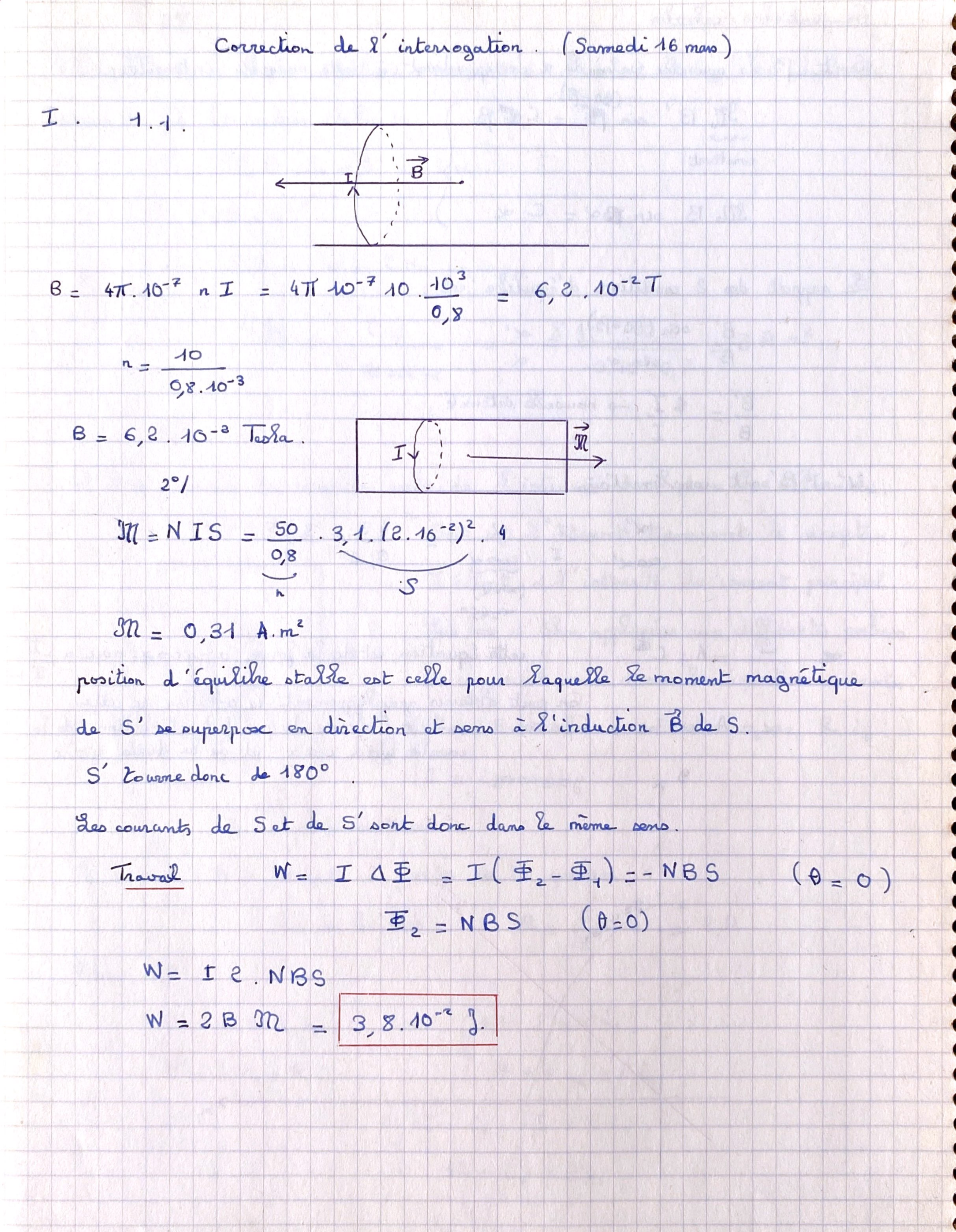
$$\frac{\alpha}{\cos\alpha} = A = C^{te}$$

$$\alpha = A\cos\alpha$$

cette équation est de la forme $x = a\cos x$ avec $a = \frac{I'}{I}\cdot\frac{\alpha}{\cos\alpha}$

On peut obtenir graphiquement la solution de cette équation. x est l'abcisse du point d'intersection de la courbe $y = a\cos x$ et de la droite $y = x$





Correction de l'interrogation. (Samedi 16 mars)

I. 1.1.

$B = 4\pi.10^{-7}\ n\ I = 4\pi\ 10^{-7}\ 10 . \frac{10^3}{0,8} = 6,2 . 10^{-2}\ T$

$n = \frac{10}{0,8.10^{-3}}$

$B = 6,2 . 10^{-3}$ Tesla.

2°/

$\mathcal{M} = N I S = \underbrace{\frac{50}{0,8}}_{n} . \underbrace{3,1 . (2.10^{-2})^2 . 4}_{S}$

$\mathcal{M} = 0,31\ A.m^2$

position d'équilibre stable est celle pour laquelle le moment magnétique de S' se superpose en direction et sens à l'induction $\vec{B}$ de S.

S' tourne donc de 180°.

Les courants de S et de S' sont donc dans le même sens.

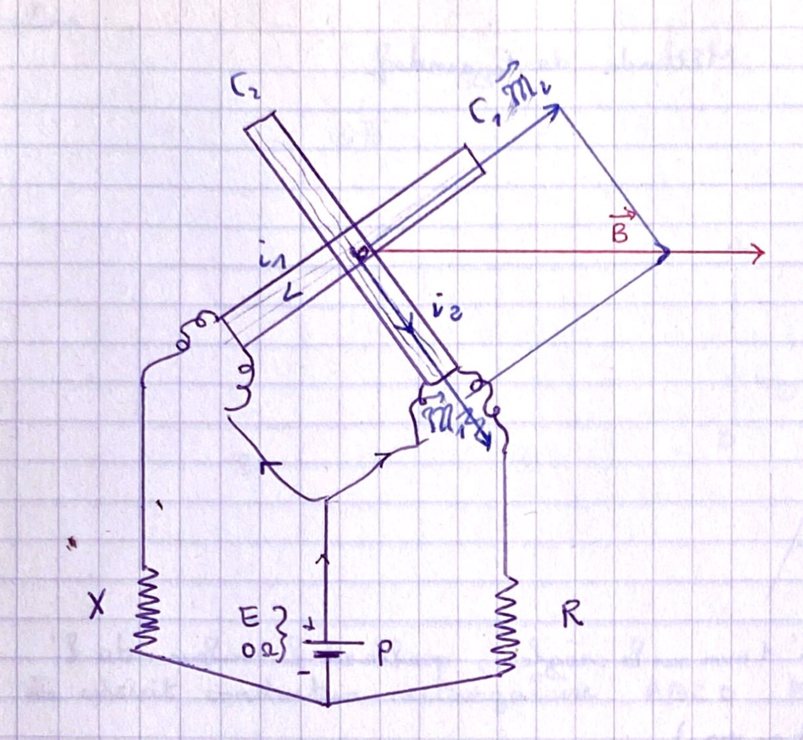
Travail $\quad W = I\ \Delta\Phi = I(\Phi_2 - \Phi_1) = -NBS \quad (\theta = 0)$

$\Phi_2 = NBS \quad (\theta = 0)$

$W = I\ 2 . NBS$

$W = 2 B \mathcal{M} = \boxed{3,8 . 10^{-2}\ J.}$

II



Chacun des 2 cadres est soumis à un couple magnétique et tend à tourner de façon à ce que son moment magnétique se superpose à $\vec{B}$ (en direction et sens).

A l'équilibre, la résultante des 2 moments magnétiques () est superposée à $\vec{B}$ en direction et sens.

Condition d'équilibre : $\Gamma'_1 = \Gamma'_2$

$$\mathcal{M}_1 B \cos\alpha = \mathcal{M}_2 B \sin\alpha$$

$$\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \frac{NSi_1}{NSi_2}$$

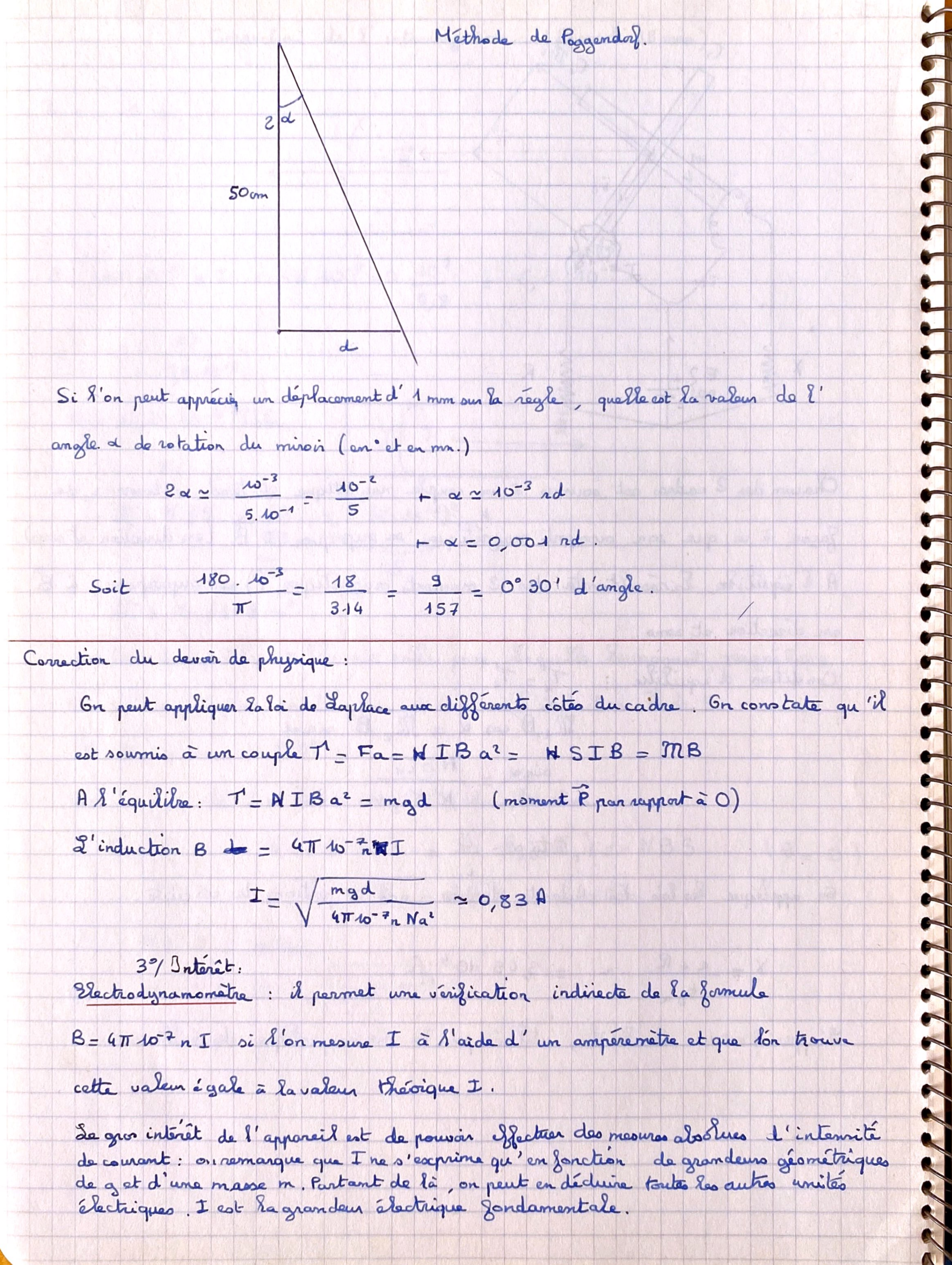
$$tg\,\alpha = \frac{i_1}{i_2}$$

On applique les lois des courants dérivés aux 2 portions de circuits : ...

$$X = \frac{r + R}{tg\,\alpha} - r = 3,45 . 10^4\ \Omega .$$

L'appareil est un Ohmmètre, utilisé pour la mesure pratique des résistances.

Méthode de Poggendorf.



Si l'on peut apprécier un déplacement d'1 mm sur la règle, quelle est la valeur de l'angle α de rotation du miroir (en ° et en mn.)

$$2\alpha \simeq \frac{10^{-3}}{5.10^{-1}} = \frac{10^{-2}}{5} \quad \rightarrow \alpha \simeq 10^{-3} \text{ rd}$$

$$\rightarrow \alpha = 0{,}001 \text{ rd}.$$

Soit $\frac{180 . 10^{-3}}{\pi} = \frac{18}{3.14} = \frac{9}{157} = 0°\,30'$ d'angle.

Correction du devoir de physique :

On peut appliquer la loi de Laplace aux différents côtés du cadre. On constate qu'il est soumis à un couple $\Gamma = Fa = N I B a^2 = N S I B = \mathcal{M} B$

A l'équilibre : $\Gamma = N I B a^2 = mgd$ (moment $\vec{P}$ par rapport à O)

L'induction $B = 4\pi\, 10^{-7} n I$

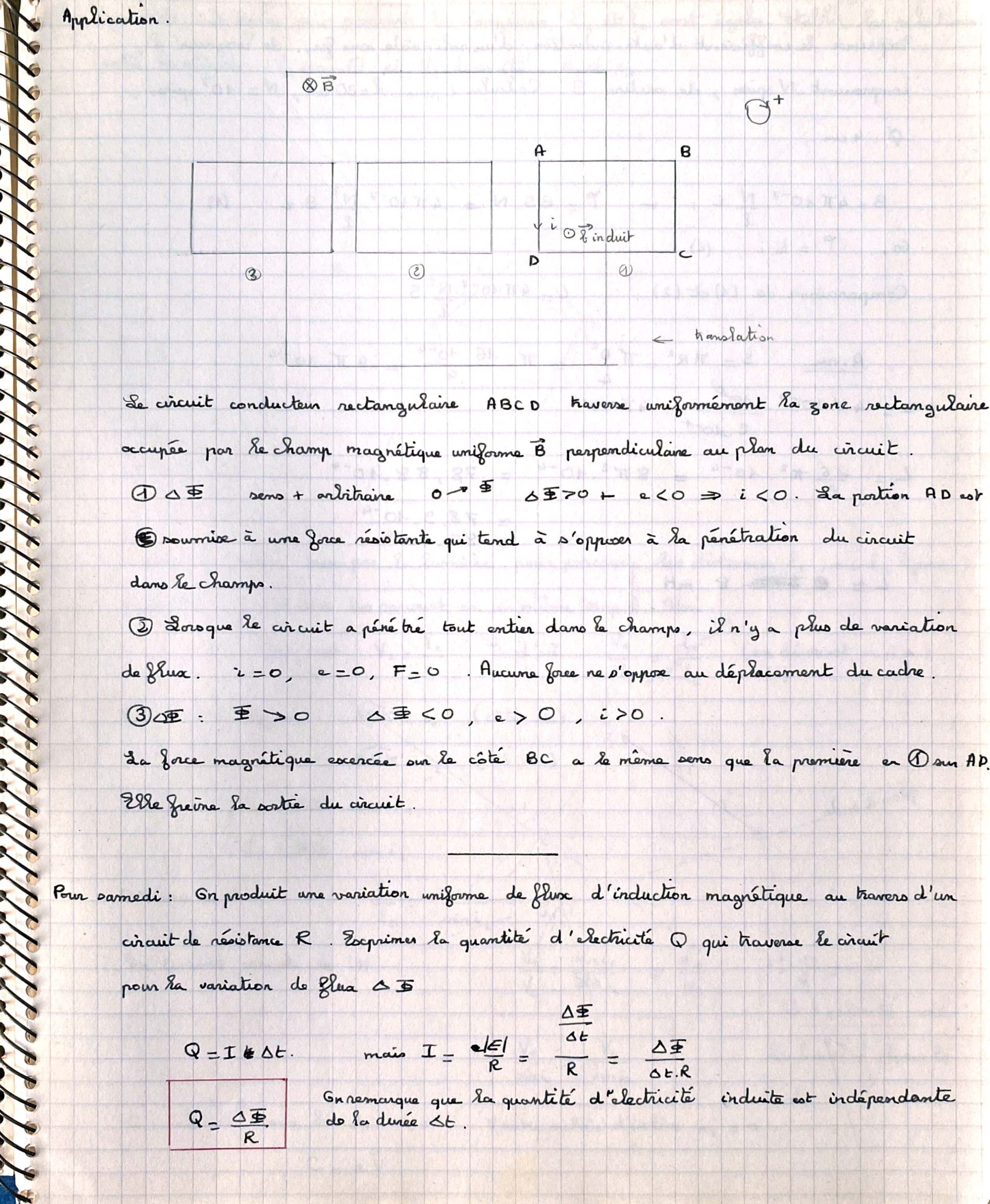
$$I = \sqrt{\frac{mgd}{4\pi 10^{-7} n N a^2}} \simeq 0{,}83 \text{ A}$$

3°/ Intérêt :

Electrodynamomètre : il permet une vérification indirecte de la formule $B = 4\pi\, 10^{-7} n I$ si l'on mesure I à l'aide d'un ampèremètre et que l'on trouve cette valeur égale à la valeur théorique I.

Le gros intérêt de l'appareil est de pouvoir effectuer des mesures absolues d'intensité de courant : on remarque que I ne s'exprime qu'en fonction de grandeurs géométriques de g et d'une masse m. Partant de là, on peut en déduire toutes les autres unités électriques. I est la grandeur électrique fondamentale.

Application.



Le circuit conducteur rectangulaire ABCD traverse uniformément la zone rectangulaire occupée par le champ magnétique uniforme $\vec{B}$ perpendiculaire au plan du circuit.

① $\Delta\Phi$ sens + arbitraire $0 \nearrow \Phi$ $\Delta\Phi > 0 \rightarrow e < 0 \Rightarrow i < 0$. La portion AD est soumise à une force résistante qui tend à s'opposer à la pénétration du circuit dans le champs.

② Lorsque le circuit a pénétré tout entier dans le champs, il n'y a plus de variation de flux. $i = 0$, $e = 0$, $F = 0$. Aucune force ne s'oppose au déplacement du cadre.

③ $\Delta\Phi$: $\Phi \searrow 0$ $\Delta\Phi < 0$, $e > 0$, $i > 0$.

La force magnétique exercée sur le côté BC a le même sens que la première en ① sur AD. Elle freine la sortie du circuit.

Pour samedi : On produit une variation uniforme de flux d'induction magnétique au travers d'un circuit de résistance R. Exprimer la quantité d'électricité Q qui traverse le circuit pour la variation de flux $\Delta\Phi$.

$Q = I\,\Delta t$. mais $I = \dfrac{|E|}{R} = \dfrac{\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}}{R} = \dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t . R}$

$$\boxed{Q = \frac{\Delta\Phi}{R}}$$

On remarque que la quantité d'électricité induite est indépendante de la durée Δt.

Exprimer le coefficient d'auto-induction d'un solénoïde sans fer, de longueur ℓ, comprenant N spires, de section S. Calculer L pour $\ell = 20$ cm, $N = 10^3$ spires, Ø : 4 cm

$$B = 4\pi 10^{-7} \frac{N}{\ell} i \quad \vdash \quad \Phi = BS.N = 4\pi 10^{-7} \frac{N^2}{\ell} S i \qquad (1)$$

Or, $\Phi = L i$ (2)

Comparaison de (1) et (2) : $L = 4\pi 10^{-7} \frac{N^2}{\ell} S$

A.nu. $S = \pi R^2 = \pi \frac{D^2}{4} = \pi . \frac{16.10^{-4}}{4} = 4\pi.10^{-4}$

$$L = 4\pi \cancel{10^{-7}} . \frac{10^6 .}{2.\cancel{10^{-1}}} . 4\pi 10^{-4}$$

$$L = \frac{16}{2} \pi^2 . 10^{-4} = 8\pi^2.10^{-4} = 78,88.10^{-4}$$

$$\simeq 78,9.10^{-4}$$
$$\simeq 80.10^{-6}$$

$L \simeq$ ~~8000~~ 8 mH

Plan d'onde

ℓ_1

i_1

(1)

Plan d'onde

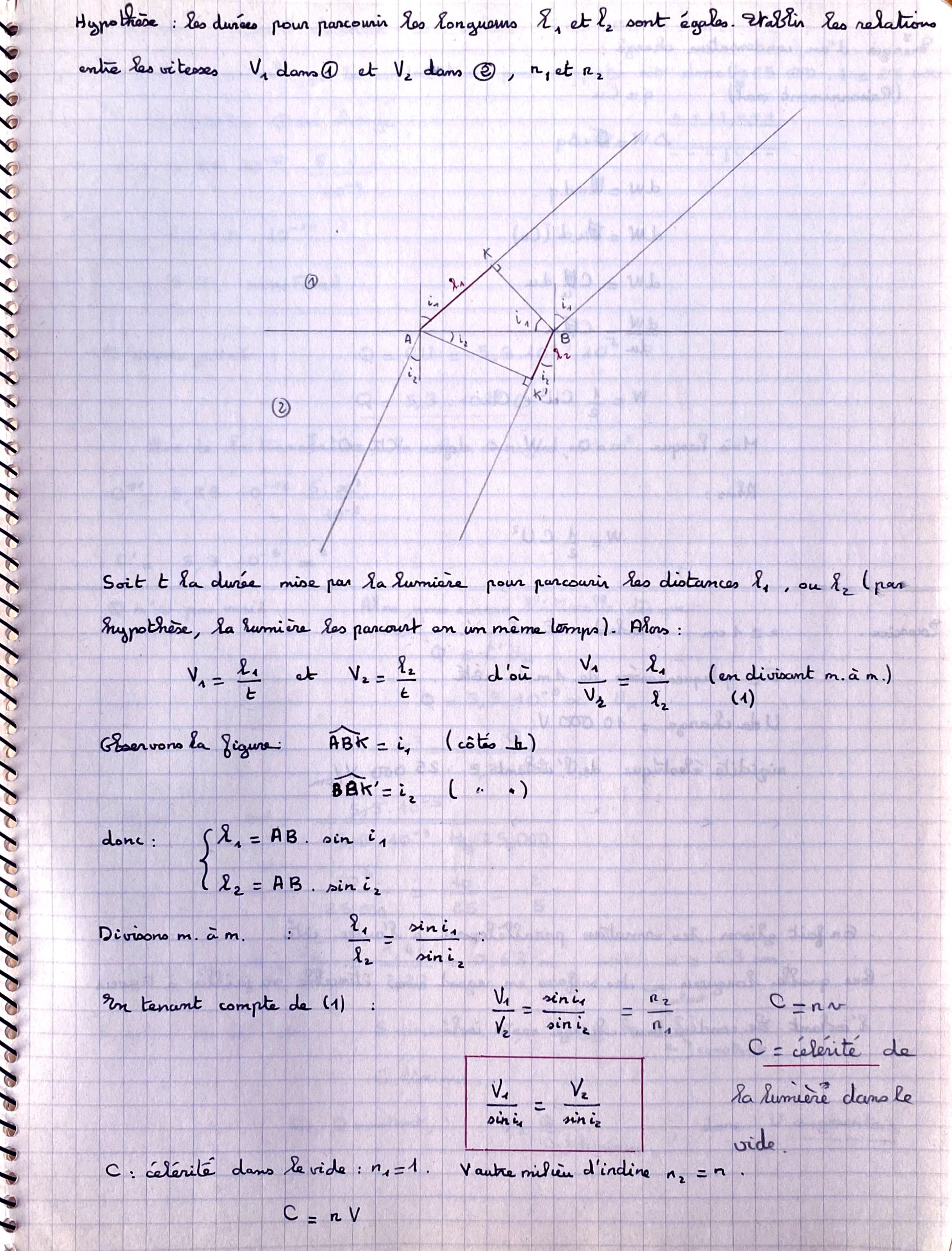
i_1

ℓ_2

i_2

i_2

(2)



Hypothèse : les durées pour parcourir les longueurs ℓ_1 et ℓ_2 sont égales. Établir les relations entre les vitesses V_1 dans ① et V_2 dans ②, n_1 et n_2

Soit t la durée mise par la lumière pour parcourir les distances ℓ_1, ou ℓ_2 (par hypothèse, la lumière les parcourt en un même temps). Alors :

$$V_1 = \frac{\ell_1}{t} \quad \text{et} \quad V_2 = \frac{\ell_2}{t} \quad \text{d'où} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{\ell_1}{\ell_2}$$ (en divisant m. à m.) (1)

Observons la figure : $\widehat{ABK} = i_1$ (côtés ⊥)

$\widehat{BAK'} = i_2$ (" ")

donc : $\begin{cases} \ell_1 = AB \,.\, \sin i_1 \\ \ell_2 = AB \,.\, \sin i_2 \end{cases}$

Divisons m. à m. : $\frac{\ell_1}{\ell_2} = \frac{\sin i_1}{\sin i_2}$.

En tenant compte de (1) : $\frac{V_1}{V_2} = \frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1}$ $C = n v$

C = célérité de la lumière dans le vide.

$$\boxed{\frac{V_1}{\sin i_1} = \frac{V_2}{\sin i_2}}$$

C : célérité dans le vide : $n_1 = 1$. V autre milieu d'indice $n_2 = n$.

$$C = n V$$

Énergie d'un condensateur chargé :

(Raisonnement oral) $q = Cu$

$$\Delta W = u \Delta q$$

$$dW = u\,dq$$

$$dW = u \cdot d(Cu)$$

$$dW = C\,u\,du$$

$$\frac{dW}{du} = C u$$

$$W = \frac{1}{2} C u^2 + Cte$$

Mais lorsque $u = 0$, $W = 0$ donc $Cte = 0$.

Alors :

$$W = \frac{1}{2} C U^2$$

Exercice. $e = 1$ cm, isolant : $\varepsilon = 6$

S = plaques carrées de 1 m de côté.

U de charge = 10 000 V

rigidité électrique de l'isolant : 25 000 V/cm

On fait glisser les armatures parallèlement à l'autre côté.

Pour quelle longueur x des surfaces en regard une étincelle va jaillir à travers l'isolant. Le condensateur chargé reste isolé.

$e = 1$ cm. rigidité électrique de l'isolant : 25 000 V / cm.

La d.d.p maximale que le condensateur peut supporter est donc $U_M = 25\,000 \cdot 1 = 25\,000$

Condensateur ① en charge

$$C = 8,85 \cdot 10^{-12} \, \frac{6 \cdot 1}{10^{-2}}$$

$$C = 53,10 \cdot 10^{-10}$$

$C = 5,3$ nanoFarad.

Q emmagasiné : $Q = CU = 5,3 \cdot 10^{-9} \cdot 10^{4}$

$$Q = 5,3 \cdot 10^{-5} \text{ C}$$

Lors de la translation, la surface en regard est x^2.

$$C' = 8,85 \cdot 10^{-12} \, \frac{6 \cdot x^2}{10^{-2}}$$

$$C' = 5,3 \cdot 10^{-9} \cdot x^2$$

Q n'a pas varié. Alors, nous aurons l'étincelle dès que :

$$Q = C' U_M$$

$$Q = 5,3 \cdot 10^{-9} x^2 \cdot U_M$$

$$x^2 = \frac{Q}{5,3 \cdot 10^{-9} \cdot U_M}$$

A. nu : $x^2 = \dfrac{5,3 \cdot 10^{-5}}{5,3 \cdot 10^{-9} \cdot 25\,000}$

$$x^2 = \frac{10^4}{25\,000} = \frac{10}{25} = \frac{2}{5}$$

$x = \dfrac{\sqrt{2}}{\sqrt{5}} = \dfrac{1,41}{2,23} = 0,63$ m soit $x \simeq 63$ cm.

Ce qui est normal car : S diminue, $C = k \dfrac{\varepsilon S}{e}$ (ε constant, e constant)

C diminue.

Or, Q constant, $U = \dfrac{Q}{C}$ (C diminue), donc U augmente.

Calcul littéral.

$$C = k \frac{\varepsilon S}{e} \qquad \text{avec } k = \frac{1}{36\pi . 10^9} = 8,85 . 10^{-12}$$

d'où $$Q = CU = k \frac{\varepsilon S}{e} U \quad (1)$$

S devient x^2. Q invarié.

$$Q = C' U_M$$

$$Q = k \frac{\varepsilon x^2}{e} U_M \quad (2)$$

Rapprochons (1) et (2).

$$k \frac{\varepsilon S}{e} U = k \frac{\varepsilon x^2}{e} U_M$$

$$S U = x^2 U_M$$

$$x = \sqrt{\frac{SU}{U_M}} = \sqrt{\frac{1.10^4}{25\,000}} = \sqrt{\frac{2}{5}} \simeq 0,6323$$

Idiot ! définition du rectangle ?

$$x \simeq 63,20 \text{ cm}$$

Dans ce déplacement puisque Q est constant, alors que la capacité C va diminuer puisque S diminue. La d.d.p. U varie à l'inverse de C. U↗.

$$C' U_M = C U$$

$$\frac{C'}{C} = \frac{U}{U_M} = \frac{S'}{S} = \frac{x l}{l l} = \frac{x}{l}$$

$$x = \frac{U}{U_M} . l$$

$$x = \frac{10^4}{2,5 . 10^4} . 1$$

$x = 0,4$ m ou 40 cm.

Montrons que pour déplacer ainsi ces plaques, même si les frottements sont nuls, il faut effectuer un travail contre les forces électriques. Ce travail peut être calculé. Il est exprimé par la différence entre l'énergie initiale du condensateur et son énergie finale à la position finale. $\frac{W}{W'} = \frac{U}{U'}$

$$W = \frac{1}{2} Q U \qquad W' = \frac{1}{2} Q U'$$

$$W - W' = \frac{1}{2} Q (U - U')$$

$$= \frac{1}{2} . 5,3 . 10^{-5} (15\,000)(-1)$$

$$= -39 . 10^{-2} \text{ J}$$

Le travail que l'on doit effectuer est moteur (contre les $W' - W = 0,38$ J.

Correction de la composition de Chimie.

I

$Cl-Cl$

$CH_2 = CH_2 \rightarrow CH_2Cl - CH_2Cl$ élimination $HCl \rightarrow ClHC = CH_2$

addition du chlore $HCCl_2 - CH_2Cl$ élimination $HCl \rightarrow HClC = CHCl$

de même : $Cl_2C = CCl_2$

II a) addition de HCl sur l'éthyne. $H-Cl$ / $H-C \equiv C-H$

à partir de l'éthène :

$CH_2 = CH_2$, addition Cl_2 puis élimination HCl.

b) addition de HCN sur l'éthyne.

$H - C \equiv N$

$H - C \equiv C - H$

ou à partir du propène C_4H_8 avec NH_3 et O_2. (ammon-oxydation)

III a) $CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_3$ $\quad CH_2 = CH - CH = CH_2$

déshydrogénation du n-butane par élimination de 2 molécules H_2.

b) $H - C \equiv C - H$ } $CH_2 = CH - C \equiv C - H$
$H - C \equiv C - H$

Hydrogénation partielle par addition d'une molécule H_2 (catalyseur : palladium colloïdal).

c) $C = C - C = C$

$C = C - C = C \quad C = C - C = C$

$C - C = C - C$ | $C - C = C - C$ | $C - C = C - C$

On constate ainsi qu'il reste la moitié des doubles liaisons initiales

IV $C_6H_6 + 2\,HNO_3 \rightarrow C_6H_4(NO_2)_2$ équation pondérale et finale.

12,8 moles $\quad$ 2.12,8 $\quad$ 12,8 moles.

Masse DNB = 2,15 kg.

Correction du devoir.

Le sens du courant dans chaque bobine doit être tel que les couples auxquelles elles seront soumises aient même signe algébrique. Ceci nous permet de déterminer quels doivent être les sens des moments magnétiques $\mathcal{M}$ des bobines. Du sens de ces moments $\mathcal{M}$, on déduit le sens du courant dans chaque ~~mot~~ bobine.

Le sens du courant dans chaque bobine doit rester le même pour $\frac{1}{2}$ tour car il s'inverse pour les positions de B_1 et B_3.

Les bobines subissent des variations de flux d'induction. Nous avons donc :

$W = I . \Delta \Phi$ (Loi de Maxwell)

Pour 1 bobine, exprimons la variation du flux pour 1 tour.

$-NBS \rightarrow 0 \rightarrow +NBS$ $\quad$ $-NBS \rightarrow 0 \rightarrow +NBS$

$\Delta \Phi_1 = 4 NBS$.

Puisqu'il y a 4 bobines, nous avons : $\Delta \Phi = 4^2 . NBS$ en 1 tour.

Pour 1 tour : $W = I . 4^2 . NBS = 4^3 NBS$

$\mathcal{P} = \frac{W}{t} = \frac{n}{t} . 4^3 NBS$; $\frac{n}{t}$ nombre de tours/s. $= \frac{1800}{60}$

$\mathcal{P} = \frac{1,8 . 10^3}{60} . 4^3 . 10^2 . 2 . 2,4 . 10^{-3}$

$\mathcal{P} \simeq 920 W$

2°/

Lorsque le rotor tourne, il y a variation de flux inducteur à travers les bobines. Il prend donc naissance une f.e.m. induction e d'où un courant induit ~~qui~~ : Le système devient un générateur. Le Voltmètre indique en circuit ouvert la f.e.m. $e = \frac{|-\Delta \Phi|}{\Delta t}$

Le sens du courant induit est inversé. La variation $\Delta\Phi$ est pour 1 tour complet la même que précédement, soit $4^2.NBS$

$$e = \left| -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = \frac{4^2.NBS.n}{t'} = 230 \text{ V}.$$

En fait, à cause de légers courants de Foucault et de phénomènes secondaires, la f.é.m réelle est sensiblement inférieure.

$$i \simeq 2.10^{-10} \text{ A}.$$

Cette valeur correspond aux limites de l'ordre de grandeur des intensités mesurables. Les mouvements désordonnés des électrons qui ne se compensent plus exactement entraînent des fluctuations.